

LA RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL APLICADA AL PATRIMONIO COMO HERRAMIENTA PARA LA INVESTIGACIÓN Y LA DIVULGACIÓN: EL EJEMPLO DEL SACRIFICIO RITUAL DEL PATIO DEL YACIMIENTO DE CASAS DEL TURUÑUELO (GUAREÑA, BADAJOZ, ESPAÑA) COMO CASO DE ESTUDIO

Virtual Reconstruction Applied To Heritage as a Tool for Research and Dissemination: The Example of Ritual Sacrifice of Courtyard of the Casas Del Turuñuelo Site (Guareña, Badajoz, Spain) as a Case Study

ESTHER RODRÍGUEZ GONZÁLEZ*, JOSEP R. CASALS** y SEBASTIÁN CELESTINO PÉREZ*

RESUMEN Desde la obtención del primer proyecto del Plan Nacional de Investigación *Construyendo Tarteso*, en el año 2015, buena parte de nuestro interés se ha centrado en la aplicación de la reconstrucción virtual a los restos arqueológicos, tanto muebles como inmuebles, objeto de estudio en el marco del mismo. Dicho interés nace de las ventajas que el uso de las tecnologías 3D nos brindan tanto para el ámbito de la investigación como de la divulgación del conocimiento. Por ello, este trabajo reúne algunas de las aportaciones principales que, desde el proyecto Construyendo Tarteso, hemos realizado en torno a las metodologías empleadas en la reconstrucción del patrimonio. Ejemplo de ello es la aplicación de la tecnología de renderizado en Real Time como el motor de videojuegos Unreal Engine. Su utilidad y ventajas, ya mostradas en la reconstrucción del edificio de Casas del Turuñuelo, vuelven a quedar reflejadas en este trabajo donde se presenta el proceso y los resultados de la reconstrucción virtual del sacrificio de animales documentado en el patio del mencionado yacimiento.

Palabras clave: Reconstrucción virtual, Patrimonio arqueológico, Real Time, Unreal Engine, Motor de videojuego.

* Instituto de Arqueología (CSIC – Junta de Extremadura). esther.rodriguez@iam.csic.es, <https://orcid.org/0000-0002-5813-9035>; scelestino@iam.csic.es. <https://orcid.org/0000-0002-2050-7090>

** Digital Heritage. jrcasals@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-5574-7679>

Fecha de recepción: 02-10-2023. Fecha de aceptación: 08-06-2024.

<http://dx.doi.org/10.30827/CPAG.v34i0.29129>

ABSTRACT Since the year 2015, when ‘National Research Project Construyendo Tarteso’ began, the application of virtual reconstruction to the archaeological remains studied within the frame of the Project, both movable and immovable, has been one of our main interests. This is due to the advantages that the use of 3D technologies offers us both in the fields of research and scientific dissemination. Therefore, this work brings together some of the main contributions made by the ‘Construyendo Tarteso Project’, in relation to the methodologies applied in the reconstruction of archaeological heritage. An example of these contributions is the application of ‘Real Time’ rendering technology with the video game engine ‘Unreal Engine’. Its usefulness and advantages, already shown in the reconstruction of the Casas del Turuñuelo building, are once again depicted in this work where we present the process and the results of the virtual reconstruction of the mass animal sacrifice documented in the courtyard of this site.

Keywords: Virtual Reconstruction, Archaeological Heritage, Real-Time, Unreal Engine, Video Game Engine.

LA RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL, UNA HERRAMIENTA ELEMENTAL DENTRO DE LA METODOLOGÍA ARQUEOLÓGICA

En la última década, la aplicación de las tecnologías 3D a la reconstrucción del patrimonio se ha convertido en un recurso indispensable en cualquier proyecto arqueológico. Así, su inclusión en los flujos de trabajo ha supuesto una transformación tanto en el modo de enfocar los objetivos y el desarrollo de los proyectos de investigación, como a la hora de plantear la difusión de los resultados obtenidos en el marco de los mismos (una reflexión reciente en Staropoli *et al.*, 2023).

Desde su aparición como herramienta auxiliar de la arqueología, la reconstrucción virtual ha conseguido afianzarse como una disciplina con objetivos y metodologías propias que ya cuenta con una base teórica sustentada por una serie de normas específicas (López-Menchero y Grande, 2011; López-Menchero, 2013) que han servido de cimientos para gestionar la velocidad a la que las nuevas tecnologías se han adentrado en nuestra rutina y, en este caso concreto, en el universo de la Arqueología. De ese modo, de aquel primer propósito en el que la virtualización del patrimonio se concebía como una herramienta de representación mediante la cual podíamos mostrar cómo fue en origen determinado yacimiento arqueológico o construcción histórica, es decir, cuando la arqueología virtual se entendía como un método fundamentalmente de divulgación; en la actualidad se ha convertido en una herramienta de documentación con un alto rendimiento, cuya funcionalidad se adapta al estadio de la práctica arqueológica en la que se proponga su aplicación. Así, métodos como la fotogrametría o el escáner mediante el uso de tabletas o dispositivos móviles han comenzado a ganar terreno a métodos tradicionales como el dibujo o la fotografía analógica, acortando los tiempos que durante los trabajos de campo se invertían en documentación y garantizando una mayor calidad y veracidad del registro gráfico (Maldonado, 2020).

Los diversos campos y la variedad de objetivos con los que una reconstrucción virtual puede plantearse en el marco de un proyecto arqueológico, a lo que se

suman los diversos métodos y la variedad de herramientas que pueden emplearse para llevarla a cabo, permite abordar un trabajo de esta naturaleza desde diferentes perspectivas. En esta ocasión tomaremos como punto de partida y exposición nuestra experiencia en el marco del proyecto *Construyendo Tarteso*, donde, desde su creación en el año 2015, la reconstrucción virtual de los yacimientos arqueológicos que se analizan en el marco del mismo y de los materiales documentados en ellos, han sido una parte esencial de su desarrollo.

La relevancia que tanto la documentación como la reconstrucción virtual de los restos arqueológicos han ido adquiriendo dentro del diseño metodológico del proyecto se debe, fundamentalmente, a la versatilidad de esta herramienta, capaz de adaptarse y emplearse en cada uno de los tres estadios o ejes principales sobre los que sustenta un proyecto arqueológico: la investigación, la restauración y conservación y la divulgación del conocimiento (Staropoli *et al.*, 2023:123, fig. 1).

LA ARQUEOLOGÍA VIRTUAL AL SERVICIO DE LA INVESTIGACIÓN Y SU APLICACIÓN AL YACIMIENTO DE CASAS DEL TURUÑUELO (GUAREÑA, BADAJOZ)

Más allá de la capacidad que las aplicaciones digitales poseen de cara a ofrecer una excelente calidad gráfica en la documentación de materiales y contextos, un hecho que hoy todos tenemos asumido en el mundo de la arqueología, y dentro del ámbito de la investigación, es que la virtualización del patrimonio desempeña un importante papel desde el punto de vista analítico. Así, partiendo de las evidencias arqueológicas recuperadas en los trabajos de campo, esta herramienta nos permite realizar cálculos con los que certificar la validez de una propuesta de reconstrucción, ratificar o desmontar hipótesis tanto desde el punto de vista constructivo como espacial, al mismo tiempo que nos brinda la posibilidad de proponer representaciones que sirvan como base para el debate histórico y como paralelo para el estudio y análisis de yacimientos pertenecientes a una misma etapa u horizonte cultural (Piquer-Cases *et al.*, 2015).

La versatilidad que esta metodología presenta, a la que ya hemos hecho referencia, posibilita su combinación con diversas herramientas de representación, así como con otras técnicas digitales de análisis. Al mismo tiempo, su naturaleza no invasiva permite que el proyecto arqueológico al que se aplica permanezca siempre vivo, pues se trata de una tecnología que posibilita la actualización del modelo y la reconfiguración propuesta al ser una herramienta reversible. Con ello, son infinitas las posibilidades que una reconstrucción virtual nos ofrece de cara al estudio de una evidencia arqueológica.

Desde nuestra perspectiva, y teniendo en cuenta el enfoque que el proyecto *Construyendo Tarteso* presenta, orientado al estudio de la arquitectura de tierra como producto social (Rodríguez González y Celestino, 2022), la reconstrucción virtual pone a nuestra disposición una herramienta de análisis fundamental. Su aplicación, por ejemplo, a casos de estudio arquitectónico, nos permite construir

hipótesis volumétricas en base a la evidencia de las estructuras conservadas y comprobar si resultan viables a partir de los materiales recuperados en la excavación y las evidencias arqueológicas conservadas *in situ*.

En este sentido, quizás uno de los ejemplos más destacados, en los que la reconstrucción virtual está desempeñando un papel relevante en nuestro trabajo de investigación, sea en el estudio de las soluciones constructivas empleadas para la fabricación de las cubiertas que techan las estancias del edificio de Casas del Turuñuelo. Para su análisis partimos con una ventaja fundamental, el excelente estado de conservación del yacimiento, un hecho relevante que nos está permitiendo recuperar interesantes evidencias arqueológicas, hasta el momento desconocidas, pero fundamentales para comprender los materiales empleados en la construcción de los edificios y las soluciones arquitectónicas aplicadas. Es el caso de la documentación de restos de vigas y ramajes vegetales, junto a morteros de tierra que conservan las improntas de la materia vegetal, empleados en la fabricación de las cubiertas horizontales de muchas de las estancias del yacimiento, o la recuperación de un destacado volumen de adobes sobre el pavimento de la ‘Estancia 100’ del yacimiento (Rodríguez González y Celestino, 2017), cuya presencia, junto al análisis arquitectónico de la construcción, nos ha permitido proponer la existencia de una bóveda (Carranza *et al.*, e.p.), ejecutada sin cimbra a partir de hiladas inclinadas (fig. 1), herederas

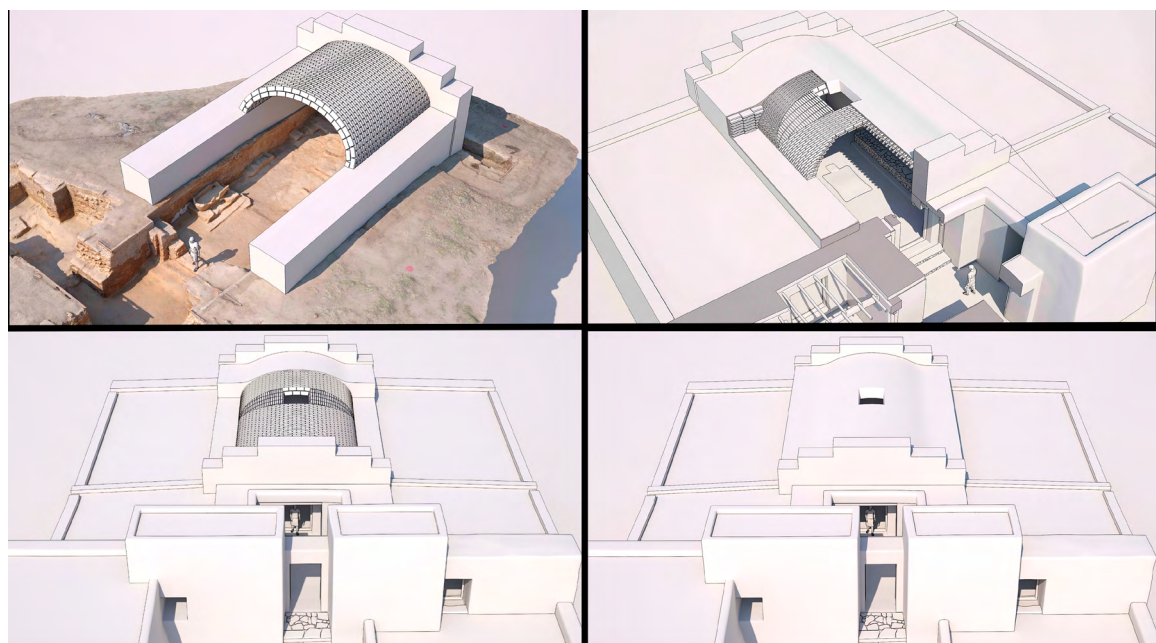


Fig. 1.—Evolución gráfica de la hipótesis de reconstrucción virtual de la bóveda empleada como techumbre de la ‘Estancia 100’ del yacimiento de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz) (Proyecto Construyendo Tarteso).

de las bóvedas documentadas en el Próximo Oriente; el primer ejemplo de este tipo de solución arquitectónica documentado en un yacimiento de la protohistoria peninsular.

Para su planteamiento ha sido esencial el análisis de las evidencias arqueológicas: las dimensiones de la estancia, 60 m², la ausencia de vigas y pies derechos que permitan sustentar las vigas maestras y la ya mencionada abundancia de restos de adobe sobre el pavimento de la estancia. Con estos datos, y sin paralelos arquitectónicos peninsulares en los que apoyarnos, pues los únicos ejemplos conocidos hasta la fecha proceden de regiones como Egipto y el Próximo Oriente, la reconstrucción virtual nos ha brindado la posibilidad de construir la bóveda que un día cubrió la 'Estancia 100' del yacimiento de Casas del Turuñuelo, demostrando que su ejecución es, técnica y arquitectónicamente hablando, posible.

La construcción del modelo 3D se basó en la comparación de los modelos teóricos de bóvedas construidas sin cimbras, adaptadas a las dimensiones reales de la estancia de Casas del Turuñuelo, y el planteamiento del arranque de un arco perfectamente medible en el modelo fotogramétrico, estableciendo así una curvatura básica como punto de partida para definir la disposición de los arcos de hiladas inclinadas. Dichos arcos se apoyan sobre un primer alzado de adobes, dispuestos horizontalmente, que marcan el arranque del arco, cuya anchura se va reduciendo conforme el modelo va ganando altura. Así, construir las hiladas de adobes dispuestos en arcos planos inclinados sobre una pared que hace de apoyo en los extremos permite ir apilando dichos arcos, cada uno adosado al anterior hasta cerrar el espacio sin necesidad de contar con ningún tipo de sustento o cimbra.

Al desarrollar la estructura en 3D, decidimos partir de uno de los modelos estudiados previamente, basado en dos tramos simétricos de inclinación opuesta y con un cierre en el centro donde los adobes se disponen en sentido perpendicular, cuyo ejemplo más representativo lo constituye la bóveda de Tell al Rimah (Oates, 1970). Sin embargo, no hemos optado por construir una bóveda continua de un solo tramo, sino que en la reconstrucción propuesta hemos diseñado un modelo en el que el punto central, donde cruzan los dos tramos de la bóveda, queda vacío, lo que nos ofrece la posibilidad de contar con una apertura para la entrada de luz en el centro de la estancia, punto en el que se localiza en emblema en forma de piel de bóvido. Dicha apertura, no compromete en forma alguna la estabilidad de la estructura que es, arquitectónicamente hablando, factible.

La arqueología virtual aplicada a la restauración y conservación y su aplicación a materiales de cronología protohistórica

Otra de las líneas de trabajo donde la incorporación de la reconstrucción virtual ha supuesto un destacado avance es en el campo de la restauración y la conservación del patrimonio arqueológico (Bernardi y Furferi, 2007; Escrivá y Madrid, 2010; Galeano *et al.*, 2021). Desde la aplicación de nuevas técnicas de registro, hasta el análisis mediante el uso de softwares 3D, la reconstrucción virtual del patrimonio

permite el planteamiento de diversas hipótesis de trabajo y reintegración sin que la pieza o la construcción objeto de restauración tenga que verse afectada, permitiéndonos considerar la validez o viabilidad de la solución propuesta previa a su aplicación sobre el bien patrimonial.

Por ello, la reconstrucción virtual se ha convertido en una herramienta esencial dentro de la conservación preventiva, ofreciendo al usuario una experiencia inmersiva al mismo tiempo que se controla la conservación del patrimonio. De ese modo, la documentación 3D de determinados objetos cuya manipulación pone en riesgo su conservación, mediante el uso de herramientas como la fotogrametría o el escáner láser, garantiza la perdurabilidad del bien patrimonial, tanto a nivel investigador como comunitario, pues cualquier usuario tendrá a su disposición toda la información derivada del modelo, garantizando el acceso a la pieza, pero sin poner en riesgo su conservación.

Un buen ejemplo de ello es el protocolo empleado en la restauración de uno de los jarros de bronce aparecidos en la denominada ‘Estancia del Banquete’ del yacimiento de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz) (Rodríguez González y Celestino, 2019; Celestino *et al.*, 2023), cuya restauración se llevó a cabo en el Servicio de Conservación, Restauración y Estudios Científicos del Patrimonio Arqueológico (SECYR) de la Universidad Autónoma de Madrid.

Es un hecho ya recurrente, desde que los trabajos arqueológicos comenzaron en el yacimiento de Casas del Turuñuelo, que llamemos la atención sobre el mal estado de conservación que presentan los objetos metálicos aparecidos en este enclave. Su elevado nivel de oxidación viene derivado del alto nivel de humedad que posee el yacimiento, tanto porque se trata de un edificio construido en tierra, como por su proximidad al río y a tierras destinadas, exclusivamente, a cultivos de regadío. Una de las piezas que peores condiciones de conservación presentaba, del elenco de objetos metálicos recuperado de la excavación de la ‘Estancia del Banquete’ en el año 2016 fue uno de los jarros de bronce recuperados. A su elevado nivel de oxidación se sumaba su estado fragmentado y diversas patologías que fueron detectadas tras la limpieza mecánica de la superficie exterior e interior de la pieza (fig. 2a).

Ante estas circunstancias se propuso la aplicación de la restauración virtual como herramienta para diseñar un protocolo de actuación en el que se tuviese en cuenta: la estabilidad de la pieza y su estado de conservación y las soluciones de reintegración que podrían presentarse de cara a su exposición sin que ninguna de las partes del objeto se viese comprometida (Martín *et al.*, 2021). Para ello, se elaboró un modelo fotogramétrico, tanto del jarro como de los diversos fragmentos recuperados, con cuyos modelos 3D resultantes se realizaron diversos ensayos de colocación para valorar la posible reintegración de los fragmentos en el cuerpo principal de la pieza.

El tratamiento digital de la pieza y los cálculos efectuados permitieron comprobar cómo dos de los fragmentos recuperados no podían volver a ser adheridos al resto del jarro, pues las tensiones creadas por su peso ponían en riesgo la conservación de la pieza. Frente a ello, la solución propuesta fue el diseño de un soporte

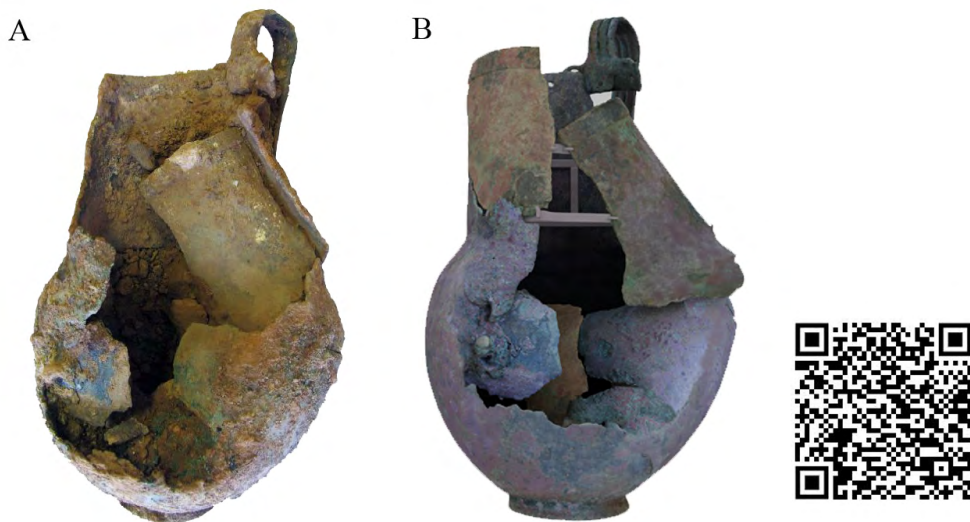


Fig. 2.—Jarro de la ‘Estancia del Banquete’ del yacimiento de Casas del Turuñuelo: A) fotografía de su estado de conservación tras su extracción en la excavación; B) imagen sacada del modelo fotogramétrico donde puede apreciarse el soporte diseñado e impreso en 3D para garantizar la sujeción de las piezas al cuerpo principal. Escaneando el código QR podrás acceder al modelo 3D de la pieza. (Fotografías y modelo de Bárbara Martín Gómez, SECYR).

3D formado por tres piezas que permiten a los fragmentos ocupar su posición original sin necesidad de que estos sean reintegrados (fig. 2b).

Un segundo caso de estudio, en esta ocasión con una triple finalidad, la conservación, la investigación y la divulgación, lo constituye la documentación virtual de las denominadas cerámicas pintadas postcocción características de la fachada atlántica peninsular en un momento de transición entre el Bronce Final y la I Edad del Hierro (Celestino *et al.*, 2018). La característica principal de este tipo de producciones es su decoración. Al estar pintadas tras la cocción de la pieza, la pintura no queda fijada al recipiente, de tal modo que su manipulación provoca su total desaparición. Este hecho ha provocado que la conservación de la pintura en los ejemplos recuperados hasta la fecha sea siempre regular, pues en la mayor parte de las ocasiones el pigmento queda adherido al sedimento y no al cuerpo de la pieza.

Con el objetivo de limitar la manipulación de este tipo de objetos, una vez efectuada su restauración, diseñamos un protocolo de trabajo que garantizase tanto su documentación virtual como su estudio (Rodríguez González *et al.*, 2018). Para ello, la metodología diseñada contaba con tres herramientas: la fotogrametría, el análisis con DStretch y el modelado 3D. Para su aplicación, seleccionamos una cazuela procedente de las excavaciones de Portaceli (Medellín, Badajoz) cuya decoración estaba en muy mal estado de conservación. La realización de un modelo fotogramétrico de la pieza nos permitió aplicar diversos filtros con los que conseguimos reconstruir, parcialmente, la decoración de la pieza, inapreciable al ojo humano.

Con una nueva versión del esquema decorativo del cuenco pudimos modelar una reconstrucción en 3D del objeto que ahora nos permite contemplarlo en su estado original (fig. 3). Así, gracias a esta metodología, que ya ha sido puesta en práctica en otros contextos y sobre otros soportes, contribuimos a la conservación de estas delicadas piezas arqueológicas, garantizando su integridad y evitando su constante manipulación (Rodríguez González *et al.*, 2018:10).

Esta metodología puede extrapolarse igualmente a la conservación no solo de bienes muebles, sino de realidades inmuebles, yacimientos arqueológicos cuya accesibilidad resulta compleja o, simplemente, el tránsito de personas pone en riesgo la conservación de los restos que atesora, siendo quizás el mejor ejemplo de ello la Cueva de Altamira (Cantabria), para cuya protección y conservación (De las Heras y Lasheras, 2009) se diseñó y ejecutó una réplica, la Neocueva, que reproduce de forma rigurosa la apariencia original de la cavidad y los restos de pinturas rupestres documentados en su interior (Lasheras, 2006; IGN, 2019); o el Sistema de Información del Conjunto Arqueológico de Carmona (SICAC) gracias al cual pueden visitarse, de forma virtual, varias de las tumbas de su necrópolis romana sin que con ello se comprometa la conservación de las mismas, evitando así su deterioro (Rodríguez-Temiño, 2016).



Fig. 3.—Flujo de trabajo para la virtualización de la cazuela pintada de Portaceli (Medellín, Badajoz): A) modelo fotogramétrico; B) aplicación de filtro YRE con Dstrech; C) reconstrucción 3D mediante el uso de software Blender. Escaneando el código QR podrás acceder al modelo 3D de la pieza. (Proyecto Construyendo Tarteso).

La arqueología virtual destinada a la divulgación del conocimiento y su aplicación en el marco del proyecto *Tarteso en Comunidad*

Junto a la utilidad que las reconstrucciones virtuales presentan de cara a la investigación y la conservación y restauración de bienes patrimoniales, sólo nos queda por resaltar el papel que éstas desempeñan en el campo de la divulgación científica, un contexto en el que su presencia ha proliferado de forma destacada en los últimos años. En buena medida, la causa de su incremento y la multiplicación de recursos didácticos que emplean la virtualización del patrimonio como vehículo de difusión, viene determinada por el aumento del número de proyectos enfocados al fomento de la cultura científica, un hecho que, a su vez, viene derivado de la importancia que las redes institucionales han comenzado a otorgarle tanto a la creación de Ciencia Ciudadana, como a la transferencia de conocimiento.

En este sentido, la gestión del patrimonio en general y la arqueología en particular, han encontrado un excelente aliado en la virtualización del patrimonio, una herramienta capaz de crear un producto que puede adaptarse a cualquier tipo de público (Rascón y Sánchez, 2008). De ese modo, aquel modelo o prototipo que habíamos diseñado y producido en el marco de una actividad de investigación, con el objetivo de ayudarnos a comprender determinado contexto o de contribuir a solucionar un problema histórico, o aquel cuya finalidad era evaluar los diversos procedimientos viables de cara a su restauración, se adapta a un nuevo escenario y se convierte, no solo en un vehículo de transmisión del conocimiento, sino en un vínculo entre la comunidad científica y la sociedad, cuya comunicación no ha sido siempre del todo fluida.

El éxito que las reconstrucciones virtuales han tenido en estos últimos tiempos viene en parte determinado por el avance de las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación), así como por el desarrollo de aplicaciones informáticas para dispositivos móviles y tabletas gracias a las cuales hoy podemos acercar el patrimonio cultural a cualquier rincón del planeta empleando diversos formatos y lenguajes. Quizás el mejor ejemplo de ello queda reflejado en la accesibilidad que la sociedad tuvo a los recursos patrimoniales durante la pandemia, un momento en el que las puertas de yacimientos arqueológicos y museos de todo el mundo se abrieron para recibir a centenares de visitantes virtuales (Carrión, 2021; Choi y Kim, 2021; Roige y Canals, 2021; Fernández-Fernández *et al.*, 2022; Quezada-Tello y Vázquez-Aguado, 2022).

Dicho esto, lo cierto es que las reconstrucciones virtuales nos facilitan la tarea de mostrar a la comunidad cómo fueron determinados objetos o yacimientos arqueológicos cuando de ellos solo se nos ha conservado una fracción, a veces bastante reducida. Así, a partir de un fragmento de cerámica podemos reproducir una pieza completa; lo mismo que, a partir de unos cimientos, podemos levantar una construcción entera para mostrar la apariencia que en origen tuvo, devolviéndole a una ‘ruina arqueológica’, a veces sólo descifrable y comprensible desde los ojos de un experto arqueólogo o historiador, todo su esplendor. Pero, además, la reconstrucción resultante no se limita a mostrarnos un volumen que podemos

observar desde diversos dispositivos y variadas perspectivas, sino que además puede dotarse de contenido, siendo ilimitada la cantidad de información que puede acompañar al modelo.

En este sentido, son numerosos los ejemplos que podríamos enumerar en los que la reconstrucción virtual se ha convertido en un complemento excepcional e indispensable de cara a enriquecer, por ejemplo, la visita a los yacimientos arqueológicos (Vizcaíno *et al.*, 2013; Codina *et al.*, 2017; del Castillo *et al.*, 2017), al igual que son numerosos los métodos empleados para el diseño y ejecución de estas reconstrucciones, desde la fotogrametría (Chaquero, 2016; Torreño, 2022), quizás la herramienta más extendida atendiendo a su fácil manejo y a su accesibilidad, pasando por el tradicional modelado 3D y llegando a las últimas novedades con la aplicación de la tecnología de renderizado en Real Time a la reconstrucción virtual del patrimonio arqueológico (Rodríguez González *et al.*, 2023).

Pero su utilidad, en el marco de la educación patrimonial (Rivero y Feliu, 2017), no se restringe a su aplicación en aquellos yacimientos que ya han sido musealizados o que ya disponen de infraestructuras asociadas como pueden ser los centros de interpretación. Por el contrario, la reconstrucción virtual resulta un excelente aliado para mostrar a la sociedad aquellos yacimientos que, por diversas circunstancias, no son en la actualidad visitables.

Este es el punto en el que actualmente nos encontramos en el marco del proyecto *Construyendo Tarteso*, concretamente en lo referente al yacimiento tartésico del Casas del Turuñuelo. La dimensión y el interés que el yacimiento ha despertado en los últimos años, fruto de la riqueza arqueológica que atesora, tanto a nivel arquitectónico como material, se ha visto traducido en un interés común por disfrutar tanto de los trabajos arqueológicos que se desarrollan en el mismo, como del yacimiento en sí. Las circunstancias en las que actualmente se encuentra el enclave, por cuestiones principalmente de seguridad, no permiten el acceso y visita al mismo, lo que en ocasiones complica la tarea de difundir los trabajos que en él venimos desarrollando desde el Instituto de Arqueología (CSIC - Junta de Extremadura).

Con el objetivo de paliar esta situación, el proyecto *Construyendo Tarteso* cuenta con una línea de trabajo enfocada en la socialización y mediación de los resultados de la investigación que viene desarrollándose en el yacimiento arqueológico de Casas del Turuñuelo. Este trabajo se realiza en el marco del proyecto de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), del Ministerio de Innovación y Ciencia, *Tarteso en Comunidad*, cuya andadura arrancó en el año 2018 (Rodríguez González *et al.*, 2020; Walid *et al.*, 2020, 2024). Aunque son diversas las dinámicas de trabajo y las herramientas empleadas para acercar nuestro trabajo a la comunidad y hacerles partícipes del mismo, uno de los recursos más usados para acercar el yacimiento a la sociedad, cuya base son las reconstrucciones 3D, son los recorridos virtuales (fig. 4) a los que el público tiene acceso a través de nuestros canales de difusión, caso de la página web o nuestras redes sociales. Gracias a esta herramienta, y dado que no podemos acercar a la gente al yacimiento, hemos conseguido aproximar el yacimiento al público, haciéndolo partícipe de los avances que el proyecto va consiguiendo en cada una de sus campañas arqueológicas. Como



Fig. 4.—Reconstrucción virtual de la ‘Estancia 100’ del yacimiento de Casas del Turuñuelo. Escaneando el código QR podrás acceder al paseo virtual del yacimiento generado a partir de Unreal Engine 5.03. (Proyecto Construyendo Tarteso).

complemento, se han diseñado otros recursos que permiten adentrarse en el conocimiento de la cultura tartésica, caso de las píldoras incluidas en la sección ‘Pieza a Pieza’, gracias a las cuales, y a través de modelos fotogramétricos, acercamos a la sociedad algunos de los materiales más significativos de la protohistoria del valle medio del Guadiana.

TECNOLOGÍA DE RENDERIZADO EN TIEMPO REAL APLICADA A LA RECONSTRUCCIÓN DEL PATRIMONIO: EL EJEMPLO DEL SACRIFICIO DE ANIMALES DEL PATIO DE CASAS DEL TURUÑUELO (GUAREÑA, BADAJOZ)

Desde que el proyecto arqueológico de Casas del Turuñuelo arrancase en el año 2014 (Celestino *et al.*, 2023) hemos empleado la reconstrucción virtual como herramienta para ir mostrando cómo fueron en origen las distintas estancias que conforman este edificio protohistórico. En este sentido, Casas del Turuñuelo constituye un laboratorio excepcional para emprender un proyecto de estas características, no solo por el excelente estado de conservación del edificio a nivel estructural, sino porque durante su excavación se están pudiendo recuperar elementos, caso de las bisagras de hierro que un día formaron parte de sus puertas, o los restos de vigas y materia vegetal de sus techumbres, gracias a los cuales estamos pudiendo reconstruir con gran detalle cómo fue, en origen, este edificio.

Hace apenas un año dábamos a conocer los resultados de la primera reconstrucción 3D del yacimiento, acompañado de la descripción de todo el aparato metodológico empleado para su realización (Rodríguez González *et al.*, 2023). El yacimiento de Casas del Turuñuelo es uno de los primeros ejemplos patrimoniales en los que, para su reconstrucción y representación, se está empleando tecnología de renderizado Real Time con Unreal Engine, sustituyendo así el tradicional uso de sistemas Offline.

Unreal Engine 5 es un motor de renderizado en Tiempo Real de última generación. Aunque en origen fue diseñado para la creación de entornos de videojuegos, en la actualidad ha traspasado las barreras de ese nicho inicial convirtiéndose en una herramienta de creación aplicable a muchos otros campos de la industria audiovisual. Desde la producción en televisión y la grabación de entornos en un plató virtual de cine, hasta la simulación de entornos profesionales adversos para la formación y creación de protocolos de seguridad o la creación de imágenes para cualquier ámbito del mundo digital y la investigación; el renderizado en Tiempo Real es ya una herramienta cuyo uso está cada vez más extendido debido a las grandes ventajas que ofrece el trabajo dentro de un entorno virtual de alta calidad.

Al frente de su desarrollo se sitúa Epic Games, un gigante del sector del videojuego, que ha invertido parte de sus recursos en la creación y mejora de esta tecnología, capaz de poner a nuestra disposición un entorno virtual en el que podemos trabajar de forma dinámica, aprovechando las ventajas que en materia de iluminación y texturas nos brinda, mientras movemos en Tiempo Real cantidades de polígonos con cifras hasta hace poco inimaginables. Su estrategia, que ha ido de la mano de un gran aumento de la capacidad de computación de las tarjetas gráficas o GPU, lo ha convertido en una referencia en el sector, con un enorme potencial de crecimiento dentro del mercado.

A las ventajas de la visualización en Tiempo Real debemos añadir todas las características de interactividad y las posibilidades de programación de acciones, eventos y sistemas de partículas que nos ofrece una tecnología de creación de videojuegos. Con ello, el proyecto de recreación que planteamos va más allá de la propia representación gráfica, pues nuestros objetivos están ya enfocados a proyectos futuros centrados en el uso de herramientas de difusión más inmersivas como la Realidad Virtual.

Dicho esto, el planteamiento de nuestro proyecto parte de una idea: Casas del Turuñuelo es un yacimiento vivo en el que cada año, tras cada campaña, a las partes del edificio que ya conocemos se van sumando nuevos espacios. Por esa razón, consideramos que el yacimiento constituye un excelente laboratorio de pruebas para la implementación de la tecnología de renderizado en Real Time, pues al mismo tiempo que evoluciona el yacimiento, lo hace la tecnología aplicada para su reconstrucción, lo que sin duda supone un interesante reto a nivel técnico y metodológico. En este sentido, el último desafío en el que nos hemos sumergido es la reconstrucción 3D del sacrificio de animales documentado en el patio del yacimiento de Casas del Turuñuelo, cuyos resultados recogemos a continuación.

El patio del yacimiento de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz)

Durante las campañas de excavación de los años 2017 y 2018 los trabajos arqueológicos en el yacimiento de Casas del Turuñuelo se centraron en la excavación del patio (Celestino y Rodríguez González, 2019). Hasta la fecha, es el ámbito del yacimiento con mayores dimensiones, un total de 125 m², ubicado en la planta inferior del edificio. Se trata de un espacio cerrado por sus cuatro lados que cuenta con tres accesos: uno al Oeste, donde se localiza la escalinata monumental que comunica este ámbito con el piso superior; otro al Norte, de pequeñas dimensiones; y un tercero, al Este, donde se ubica el acceso principal al patio, justo frente a la escalinata, con la que se conecta a través de un extenso pasillo de pizarras (fig. 5).

Durante las excavaciones de este espacio pudieron recuperarse alguno de los materiales más destacados del yacimiento, caso de un conjunto de ungüentarios de pasta vítrea, un sistema ponderal de siete pesas de bronce, la parte inferior de una escultura de mármol procedente del Pentélico, de la que se conservan el pedestal y los pies hasta la altura de los tobillos, y tres cuencos de vidrio producidos en el Mediterráneo oriental (Celestino y Rodríguez González, 2019:354 ss; Celestino *et al.*, 2023; Rodríguez González *et al.*, 2023). Sin embargo, y a pesar de la riqueza material de este espacio, una de las imágenes que más ha trascendido de esta zona del yacimiento corresponde a la aparición de un masivo sacrificio de animales, a modo de hecatombe, que cubría por completo la superficie del patio (Lira *et al.*, 2020).

La singularidad y excepcionalidad del contexto nos llevó a trazar un protocolo tanto de excavación como de documentación que nos permitiese registrar con sumo detalle todos aquellos elementos que conformaban la escena de sacrificio. En lo que al proceso de documentación gráfica respecta, junto a la realización de un modelo fotogramétrico de la escena, procedimos a efectuar un escaneo 3D de todo el contexto, combinando para ello el uso del escáner láser terrestre, modelo Trimble SX10, y el escáner láser portátil de corto alcance modelo Artec MHT



Fig. 5.—Vista del patio del yacimiento de Casas del Turuñuelo extraída del modelo fotogramétrico realizado en el año 2018 (Proyecto Construyendo Tarteso).

3D¹, con el que se han podido obtener imágenes de gran calidad de determinadas partes del contexto. La combinación de los datos obtenidos mediante el uso de fotogrametría y el escáner láser nos ha permitido obtener un modelo 3D de gran calidad de este contexto (fig. 6), el punto de partida para afrontar la reconstrucción virtual del mismo.

Objetivos

Los trabajos de reconstrucción de la escena de sacrificio del patio de Casas del Turuñuelo se iniciaron de forma paralela a la planificación de la exposición *Los últimos días de Tarteso*, organizada y celebrada en el Museo Arqueológico y Paleontológico de la Comunidad de Madrid, en Alcalá de Henares, entre los meses de marzo y septiembre de 2023 (Celestino y Baquedano, 2023a, 2023b). Dentro del esquema expositivo de la muestra, al final de la misma, se planteó el diseño de un gran espacio en el que se representase, a escala real (fig. 7), el patio de Casas del Turuñuelo, acompañado de un vídeo en el que se mostrase el ritual de desmantelamiento del edificio y su amortización final, incluyendo dentro del mismo, la escena del sacrificio.

Ante la dificultad de explicar una escena tan compleja como el sacrificio de animales, donde unos individuos se superponen sobre otros y donde el estudio arqueológico ha sido capaz de identificar diferentes fases, el uso de las tecnologías digitales se revela como la mejor herramienta para ofrecer al público una representación detallada del contexto. Así, a partir de los datos científicos, podemos recrear en las que se representan diferentes momentos del proceso.

Bien es cierto que una ilustración tradicional podría igualmente explicar la escena al público y plasmar en una imagen un suceso tan impactante; sin embargo, la tecnología 3D nos permite una mayor precisión y realismo en la forma de representar al poder construirla con dimensiones y volumetrías reales, a partir de las cuales se confecciona una escena que posteriormente podemos recorrer y visualizar desde diferentes ángulos. A ello se suma las ventajas que, a nivel de iluminación y texturas, nos ofrecen las recreaciones 3D, llegando incluso a darnos la posibilidad de incorporar otros complementos, como sonido y efectos, lo que dota de más realismo aún a nuestra propuesta de reconstrucción.

En esta ocasión, el objetivo principal era ofrecer una foto fija del sacrificio que se llevó a cabo en la antesala de la clausura del edificio, el paso previo al

1. El escaneado tanto del edificio completo como de la escena del sacrificio y el postprocesado del material se ha llevado a cabo en el marco del Proyecto de Investigación *Aplicación de tecnologías multisensoriales para la resolución de problemas en el ámbito de la investigación y la conservación del patrimonio arqueológico de Extremadura* (IB16162) de la Junta de Extremadura y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional ‘Una manera de hacer Europa’ liderado por la Dra. Pilar Merchán de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Extremadura.



Figura 6. Vista desde el sureste del modelo 3D del sacrificio documentado en el patio de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz) (Proyecto Construyendo Tarteso).

incendio, derribo y cubrimiento de toda la construcción bajo un túmulo de tierra. En el modelo creado se reúnen diferentes momentos del sacrificio, pues el estudio realizado tanto de los restos arqueológicos recuperados como de la disposición de los individuos documentados permite concluir que son varias las fases que se incluyen en este contexto (Iborra, 2023; Iborra *et al.*, 2023). De ese modo, en el modelo diseñado se han intentado representar diferentes momentos del sacrificio con el objetivo de crear una escena completa y precisa, a la par que legible y con una finalidad didáctica, que permita al espectador conectar la imagen que ofrecía la excavación del patio en el año 2018, con la reconstrucción.



Fig. 7.—Vistas de la reproducción del patio de Casas del Turuñuelo en la exposición *Los últimos días de Tarteso* en el Museo Arqueológico y Paleontológico de la Comunidad de Madrid (Alcalá de Henares). La reconstrucción se realizó mediante la impresión del modelo fotogramétrico (fotografías: Mario Torquemada, Museo Arqueológico y Paleontológico de la Comunidad de Madrid).

Metodología y fases del trabajo

Un vistazo a la disposición que presentan los cuerpos que forman parte de la escena del sacrificio permite diferenciar dos grupos: los individuos desmembrados, acumulados en la esquina sureste del patio y los animales que todavía conservan la conexión anatómica y el orden y disposición con los que fueron premeditadamente colocados, indicativo de que, tras su sacrificio, el patio fue inmediatamente sellado con una cobertura de tierra.

Como punto de partida de la reconstrucción, escogimos la representación de los cuerpos que se conservan completos, dispuestos en dos zonas del patio: sobre el pasillo de pizarras y el área al Sur de la escalera monumental (fig. 8). El estudio tafonómico de este contexto, considerado como la última fase del sacrificio, permitió deducir el orden de disposición de los animales mediante el análisis de las superposiciones de sus cuerpos y extremidades (Iborra *et al.*, 2023), ya que todos los individuos presentes en la escena aparecen entrelazados, en posiciones opuestas, pero con las extremidades en contacto o, como en el caso más paradigmático, la pareja con sus cuellos cruzados ubicados a los pies de la escalera. En rasgos generales, una escena teatralizada que puede responder a criterios estéticos o simbólicos ofreciéndonos una imagen del sacrificio que puede convertirse en icónica.

Una vez escogido el contexto a representar e individualizados y orientados cada uno de los individuos que componen la escena, era necesario definir las tipologías

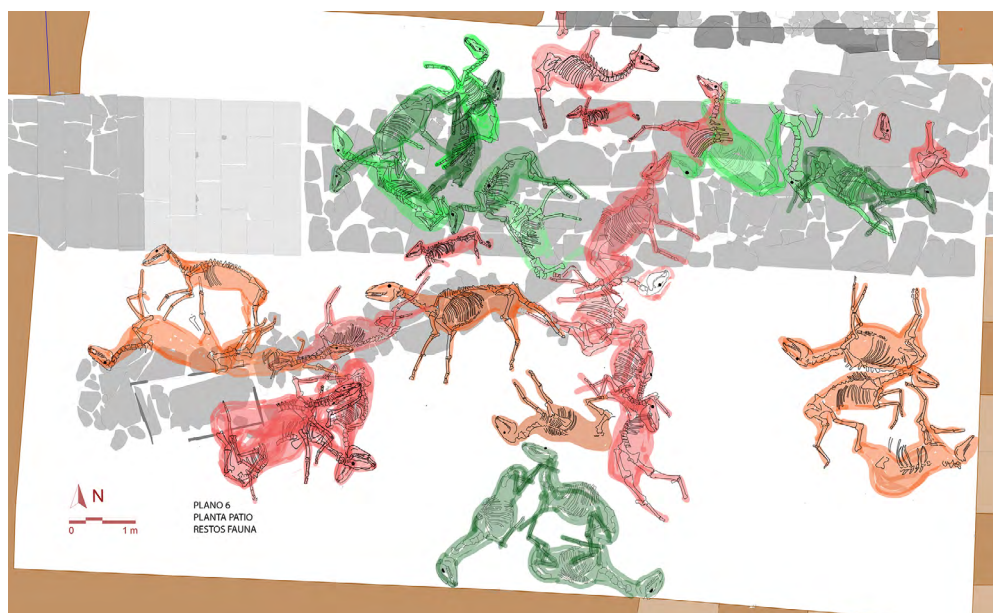


Fig. 8.—Planimetría de la excavación del sacrificio donde se diferencian, por colores (verde y rojo), dos de las fases presentes en el sacrificio del patio de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz) (Proyecto Construyendo Tarteso).

de animales a reconstruir con unos modelos 3D que nos permitieran, a partir de un animal tipo escogido como individuo común, representar todos los cuerpos presentes en la escena ajustando sus dimensiones y posturas para simplificar el proceso, ya que dentro del conjunto existen équidos de diferentes razas. A ello debemos sumar la presencia de vacas y cerdos, cuyos cuerpos también se conservan enteros.

Tomando como ejemplo el caso de los équidos, al tratarse del animal más representado en la escena, para el trabajo se optó por adquirir un modelo 3D ya construido, con una apariencia lo más neutra posible, que no tuviera la fisiología marcada de ninguna raza moderna para así facilitar el proceso de adaptación. Este debía estar modelado de una forma determinada y tener un completo sistema de Rig o huesos para poder tanto ajustarlo a las dimensiones y proporciones del modelo de équido escogido, como para modificar cuidadosamente su postura anatómica y así ajustarlo a las posturas de los individuos aparecidos en el patio.

La primera fase del trabajo consistió en escoger y adaptar el modelo 3D del caballo adquirido a nuestro modelo ideal, representado en este caso por el individuo EQ-09, uno de los ejemplares más complejos y mejor conservados. El prototipo escogido estaba modelado de tal forma que permitía modificar las dimensiones de las extremidades y las proporciones del cuerpo de forma natural para conseguir un aspecto más cercano a las dimensiones de los équidos de Casas del Turuñuelo (fig. 9), de menor tamaño, identificados con la apariencia de ciertas razas actuales

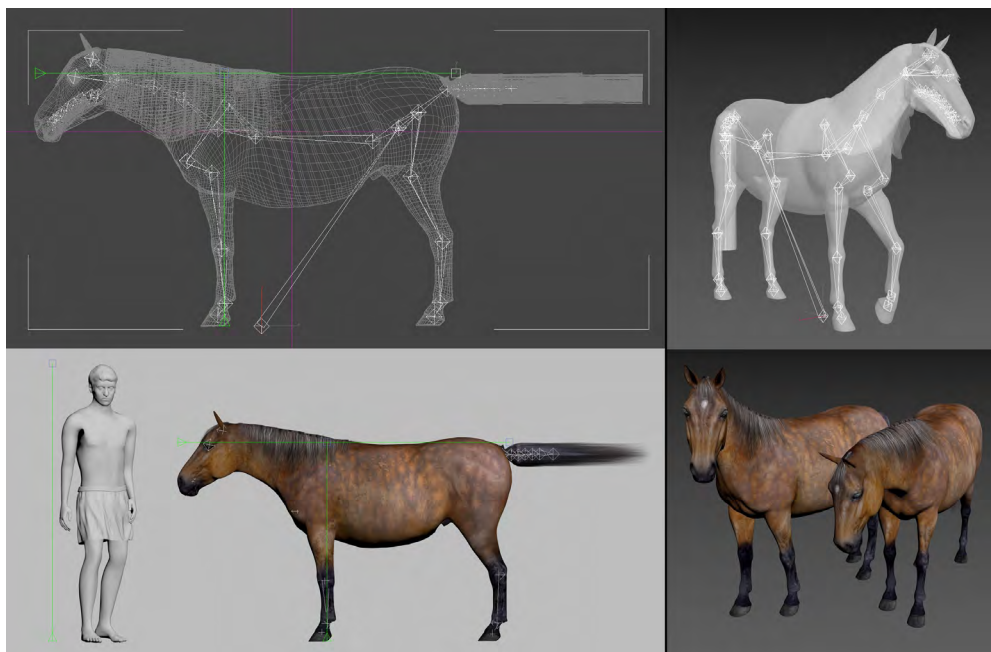


Fig. 9.—Modelo 3D de caballo estándar modificado y adaptado a las proporciones de un équido tipo. En la imagen superior aparece con su sistema de Riggeado o huesos para modificar su postura (Proyecto Construyendo Tarteso).

como los Konik de Polonia o los Sorraia de Portugal, los primos lejanos de estos équidos protohistóricos.

Así, las dimensiones y posturas que presentan los équidos de nuestra escena obliga a contar con un sistema de riggeado o de huesos que permita mover las posturas anatómicas de los modelos 3D deformando la malla de forma progresiva y continua, pues, por una parte, tenemos que modificar las proporciones y dimensiones del cuerpo del équido tipo y, por otra parte, debemos colocar cada uno de los animales en las posiciones exactas que ocupan en el patio, teniendo en cuenta que alguno de los cuerpos no presentan una postura o actitud muy natural, sino que han sido orientados en posiciones algo forzadas.

Para ello, se trabajó en una escena independiente y simplificada del patio que facilitase el montaje sobre un plano de dicho espacio que actúa de referencia, colocando cada animal de forma independiente y montando los diferentes grupos a representar con los cuerpos dispuestos según se indicaba en la planimetría obtenida tras los trabajos de campo. Esta es una fase minuciosa del trabajo, donde cada animal interacciona de alguna forma con los demás, de tal modo que, a menudo, la planificación de las posturas de un conjunto de animales nos ha obligado a revisar las posiciones de los animales cercanos para adaptarlos al esquema, debido a la alta densidad de cuerpos sobre una superficie que está limitada.

En este punto nos enfrentamos a una de las fases del trabajo con mayor complejidad. En el contexto arqueológico de la escena, los cuerpos aparecen comprimidos sobre un plano, sin apenas volumen, pues de ellos solo se conservan los restos óseos que, además, están completamente aplastados tras haber sufrido la presión del peso de toneladas de tierra durante siglos. Frente a ello, la escena objeto de recreación cuenta con animales completos, lo que significa que sus dimensiones y volumen son mucho mayores, complicando así la tarea de adaptarlos a la posición que parece que tuvieron tras su muerte, a lo que se suma la superposición de cuerpos y extremidades (fig. 10).

El esquema empleado en la reconstrucción comenzó por el diseño y ubicación de aquellos animales localizados sobre el pasillo de pizarra, la zona del patio junto a la esquina sureste donde se concentra el mayor número de individuos completos. Una vez situados, procedimos a incluir en la reconstrucción los fragmentos disgregados, pertenecientes a un sacrificio anterior, razón por la cual sus cuerpos debían aparecer diferenciados, dado que su exposición ambiental habría alterado su aspecto. Para la reconstrucción de estos cuerpos en descomposición hubo que trabajar de forma individual cada uno de los ejemplares, volviendo a esculpir cada uno de ellos una vez establecida su posición en el conjunto para, posteriormente, volver a ajustar cada cuerpo a su postura original, pues como indicábamos con anterioridad, las modificaciones realizadas hicieron variar de forma evidente su volumetría con respecto a la posición inicial.

La disposición teatralizada de la escena nos permite contemplar cómo muchos de los ejemplares de équidos aparecen dispuestos en parejas. Dentro de estas parejas, existen ejemplos en los que uno de ellos conserva el bocado colocado en las fauces, diferenciándose así del otro individuo que lo acompaña. Dichos bocados

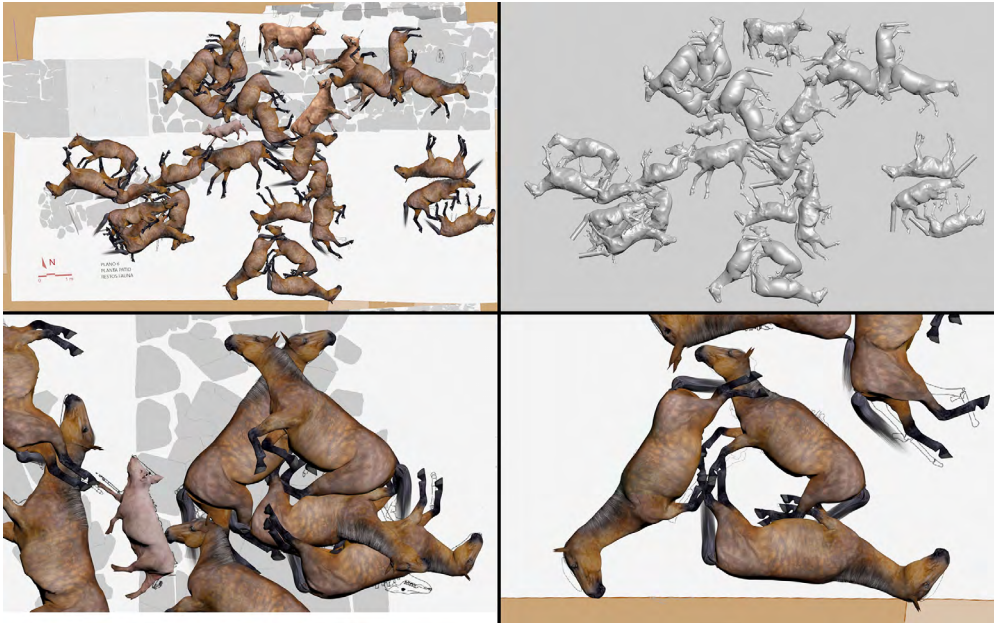


Fig. 10.—Disposición de los animales sobre el patio en base a la planimetría de la excavación arqueológica con las posturas e interacciones entre los distintos individuos definidas (Proyecto Construyendo Tarteso).

han sido modelados y texturizados para quedar incluidos en la reconstrucción. Para ello, se ha seleccionado un modelo sencillo diseñado a partir de los testimonios extraídos de los trabajos de campo, pues el alto grado de oxidación que presentaban los ejemplares recuperados y el hecho de que todavía se encuentran en fase de restauración no nos ha permitido trabajar en detalle esta parte del modelo cuyo colofón se llevará a cabo en una fase futura de la reconstrucción.

Otro de los aspectos sobre los que hemos trabajado son las texturas. A falta de los resultados correspondientes al estudio de las capas de los animales, es decir, de los datos que nos permitan conocer su raza y coloración, para esta primera fase de la reconstrucción del sacrificio hemos trabajado en torno a dos texturas. Para los équidos depositados en la última fase, aquellos dispuestos sobre el pasillo de pizarra, se han utilizado dos de los colores de capa originales del modelo 3D con algunas modificaciones; mientras que para los animales en proceso de descomposición se han creado texturas genéricas que simulan dicho proceso (fig. 11).

En el caso de las vacas y los cerdos, el proceso seguido ha sido similar, pues igualmente hemos tenido que diferenciar aquellos ejemplares correspondientes a la última fase del sacrificio de aquellos con un alto grado de descomposición. Para ello, partimos de modelos 3D estándar con formas más neutras que se han ido modificando y adaptando a las características de las razas de la época, remodelando aquellas partes donde los restos estaban en peor estado de conservación y aplicando las texturas correspondientes a su estado.



Fig. 11.—Modelos 3D modificados para simular los diferentes estados de los individuos de las dos fases del sacrificio representadas: arriba) comparativa entre un cuerpo intacto y uno cadaverizado; abajo) una muestra del trabajo de texturas en Substance Painter para diferenciar los de la fase inicial (Proyecto Construyendo Tarteso).

La última fase del trabajo de reconstrucción corresponde al modelado del cuadrante sureste del patio donde se concentran la mayor parte de los restos de animales diseminados, con montones de huesos y restos parciales de individuos que habrían pertenecido a una fase de sacrificio anterior. Posiblemente, estos individuos fueron sacrificados y depositados sobre el suelo del patio, pero para poder realizar un nuevo sacrificio, sus restos fueron removidos y arrinconados en una de las esquinas.

Para su reconstrucción, se prepararon partes de los caballos a partir de los ejemplos de équidos ya representados, acentuando su nivel de descomposición y combinando los cuerpos en putrefacción con huesos sueltos que hemos extraído del modelo 3D de un esqueleto de caballo moderno, anatómicamente correcto, para colocarlos directamente sobre la escena final.

A nivel técnico, para la recreación de esta escena se han combinado diferentes softwares. Así, para la adaptación y el ajuste de las dimensiones de los modelos de cada uno de los animales y el montaje de la escena con todos los animales en sus

correspondientes posturas se ha utilizado el software 3D Studio Max; mientras que para el esculpido digital de los cuerpos que se muestran en estado de descomposición se ha empleado la herramienta Sculpting incluida en el paquete de Blender, dada la versatilidad de la misma. Por último, el texturizado de los animales se ha realizado en Substance Painter, el mismo sistema que hemos empleado para el texturizado de algunos de los elementos del edificio, caso del emblema en forma de piel de bóvido documentado en la ‘Estancia 100’. Una vez modelados todos los animales, texturizados y adaptados a la escena de trabajo, exportamos el modelo a Unreal Engine 5, concretamente dentro del proyecto de reconstrucción del edificio, para proceder al montaje de la escena final y su renderizado en Tiempo Real (fig. 12).

Por último, y con el objetivo de ambientar la escena y crear una imagen que represente, de forma aproximada, el evento ocurrido en el patio 2500 años atrás, añadimos suciedad, restos de cenizas y charcos con sangre para completar el discurso (fig. 13). El resultado visual pretende ofrecer una imagen realista, aunque alejada del morbo y el sensacionalismo que la representación de una escena de estas características puede despertar. Todavía son muchas las preguntas que restan por resolver en torno al procedimiento por el cual fueron sacrificados tantos animales, el sitio donde se llevó a cabo el sacrificio y cómo se depositaron en el patio en posturas diseñadas deliberadamente. El avance de las investigaciones en torno, tanto al estudio de los restos óseos de los animales, como de los sedimentos en los que fueron localizados, nos permitirá, en un futuro próximo, trabajar detalles de la escena con el objetivo de aproximarnos a una imagen real, alejada de la ficción.



Fig. 12.—Escena del sacrificio montada en Unreal Engine 5 sobre el modelo de la reconstrucción virtual de Casas del Turuñuelo desarrollado durante los últimos años (Proyecto Construyendo Tarteso).



Fig. 13.—Vista final del modelo realizado con Unreal Engine 5 del sacrificio documentado en el yacimiento de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz). Escaneando el código QR podrás acceder a la reconstrucción virtual del sacrificio de animales (Proyecto Construyendo Tarteso).

HACIA LA VIRTUALIZACIÓN DE TARTESO

Esbozar unas conclusiones en el marco de un trabajo donde se aborda la implementación de métodos y técnicas digitales a la reconstrucción del patrimonio es una tarea casi inalcanzable. Así, dar por sentado determinados aspectos o parámetros de una tecnología que está en constante evolución y desarrollo parece una tarea bastante arriesgada. Frente a ello, no queríamos concluir este trabajo si ofrecer al lector un epígrafe final donde más que unas conclusiones al ejemplo de trabajo presentado, encontrará una reflexión acerca del estado actual de la digitalización aplicada al patrimonio y sus planteamientos de futuro.

Es patente que la reconstrucción virtual se ha convertido en una herramienta de uso imprescindible y habitual que nos ha abierto un mundo de posibilidades tanto en la vertiente científico-técnica como en el ámbito de la documentación, estudio y análisis de datos. Pero, además, ha entrado de lleno en el entorno de la difusión al público convirtiéndose en uno de los mejores y más accesibles medios para mostrar el aspecto de un determinado sitio, de un objeto o de cualquier acontecimiento histórico.

Las herramientas digitales han trascendido ya el poder de las metodologías tradicionales de representación, tanto en su faceta documental como en su capacidad de transmisión de información, un hecho que viene determinado por tres factores:

1. Su capacidad de actualización y reversibilidad, dos características que permiten infinitas interacciones, revisiones y mejoras. A ello se suma la

- posibilidad de trabajar, con el mismo conjunto de datos, en diversos softwares, aplicando las mejoras que año tras año van alcanzando las tecnologías digitales cuyos objetivos principales son: ofrecer más capacidades y mejorar, a la par que simplificar, los flujos de trabajo.
2. Su omnipresencia e intemporalidad, dado que su versatilidad y el desarrollo que en los últimos años se ha realizado en torno a plataformas y aplicaciones para diferentes dispositivos digitales permite el acceso a los datos o a los resultados casi desde cualquier sitio y en cualquier momento. A ello se suma su capacidad para la gestión y almacenamiento de información, la cual puede ser recuperada y revisada en el futuro de forma indefinida.
 3. Y, por último, su integración e inmersión, con un desarrollo que hace que su uso esté cada vez más integrado en nuestra vida cotidiana. De hecho, el grado de madurez alcanzado por las tecnologías digitales de representación permite su aplicación casi en cualquier ámbito profesional, no solo en el patrimonio, con herramientas que ya son de uso común, accesibles y comprensibles para cualquier usuario.

Todas estas características convierten a la tecnología de reconstrucción virtual en una herramienta abierta a todo tipo de usuarios, principalmente porque tiende a la simplificación de su sistema, lo que permite hacer tareas cada vez más complejas en menos pasos y con menor dificultad técnica. No obstante, este hecho no debe llevarnos a engaño, haciéndonos creer que toda tecnología es sencilla de usar sin contar con unos conocimientos previos. Hace falta una formación técnica profunda para el uso de herramientas digitales, puesto que la evolución de éstas es vertiginosa, de ahí que una buena base teórica sea fundamental para comprender y adoptar los nuevos sistemas de trabajo, obteniendo de ellos el mayor rendimiento y provecho.

El proyecto de investigación en torno al yacimiento de Casas del Turuñuelo es un gran ejemplo de ello. La reconstrucción virtual de este enclave se ha concebido como un experimento continuo en el que se van aplicando nuevas tecnologías y herramientas con un único objetivo: alcanzar un alto grado de realismo visual, traduciendo los restos arqueológicos a un lenguaje accesible para cualquier tipo de público. Con ese propósito nos embarcamos en el reto de emplear los motores de renderizado en Tiempo Real, propios de la industria del videojuego, como metodología para la reconstrucción patrimonial.

En este sentido y desde su aparición, el motor de renderizado Unreal Engine 5, no ha dejado de ofrecer mejoras entre las que queremos destacar dos aspectos clave: por un lado, la tecnología Lumen, que eleva la calidad de la iluminación y su optimización para el renderizado en tiempo real de entornos más complejos de forma más realista y con mejor rendimiento del hardware; y, por otro lado, la tecnología Nanite, que permite crear entornos a partir de modelos con grandes cantidades de polígonos mediante un sistema de virtualización de geometría que la segmenta y adapta en tiempo real según el nivel de detalle que sea necesario mostrar en pantalla, ocultando y simplificando la geometría no visible y permitiendo virtualmente gestionar una cantidad de polígonos infinita. A todo ello hay además que

sumar un buen número de novedades en forma de ayudas a la animación, sistemas de partículas muy avanzadas y otros módulos de programación para la creación semiautomática de entornos que están en constante evolución.

Gracias a todo ello, hoy podemos mostrar al público una escena única y en cierto modo sobrecogedora, en la que se ofrece una primera instantánea de cómo estuvo el patio de Casas del Turuñuelo en el momento inmediatamente anterior a su sellado y clausura. Dicha imagen es solo el punto de partida, pues en su evolución no solo participa el desarrollo de las tecnologías de digitalización, sino también la investigación. Así, una vez conseguido el planteamiento del escenario y la disposición de los restos de animales, el objetivo es trabajar en dos líneas: la definición de las fases del sacrificio, para poder así ofrecer una visión individualizada de cada una de ellas, y el texturizado de los animales, un ámbito en el que adentrarse una vez concluyan los análisis de ADN de cada uno de los individuos, unos resultados que nos permitirán acercarnos, por ejemplo, a la raza y coloración de los équidos, mostrando la diversidad de linajes presentes en la protohistoria peninsular.

El objetivo futuro es aplicar los resultados de esta reconstrucción virtual a tecnologías tanto de Realidad Virtual como de Realidad Aumentada, con las que podremos alcanzar un elevado grado de inmersión tanto en las visitas virtuales como presenciales que se realicen del yacimiento. A ello se suma la posibilidad de devolver los huesos documentados en las excavaciones a su sitio original gracias al escaneado 3D de cada uno de ellos, una documentación que sumada a las posibilidades que la industria de la impresión 3D hoy nos ofrece, nos permitirá imprimir los restos y sumergir al espectador en una escena sobrecogedora haciéndoles partícipes de la emoción que despierta el contemplar una escena arqueológica de estas características.

A los trabajos en torno a la reconstrucción virtual del yacimiento de Casas del Turuñuelo se suman otros proyectos en los que actualmente nos encontramos inmersos y donde la digitalización juega un importante papel. Es el caso del 'Museo Virtual de Tarteso' que pronto se convertirá en un complemento de la oferta audiovisual y divulgativa del proyecto Construyendo Tarteso. En él, y como si del catálogo de un museo al uso se tratase, el usuario podrá disfrutar de una amplia colección de materiales procedentes de los yacimientos tartésicos del valle medio del Guadiana. Sobre ellos se ha recopilado y condensado en una ficha la información más destacada, acompañada de fotografías, modelos 3D y reconstrucciones virtuales con los que acercase a los objetos que un día formaron parte de la actividad cotidiana de las sociedades peninsulares de la I Edad del Hierro.

Por último, no queríamos finalizar nuestro trabajo sin aprovechar esta ocasión para abordar uno de los temas más actuales en el marco de la era digital, más teniendo en cuenta que su aplicación nos afecta tanto a investigadores como a divulgadores del conocimiento. Nos referimos a la irrupción de la Inteligencia Artificial (IA) en el mundo de la reconstrucción patrimonial, un arma de doble filo que puede ofrecernos grandes herramientas de trabajo si se enfocan bien los problemas y las necesidades que se deben resolver con su uso.

La principal virtud de la IA es su capacidad analítica comparativa por su programación basada en el Aprendizaje Profundo. Eso la hace muy apta para todo tipo

de tareas correspondientes con el análisis de datos. Un ejemplo lo constituye su uso en medicina para la caracterización de tipos de cáncer basándose en los casos documentados y estudiados. Así, una tarea en la que una persona pasaría semanas comparando archivos para alcanzar una conclusión, la IA entrenada a tal efecto puede ejecutar la misma labor en una mínima fracción de tiempo y sin errores.

Sin embargo, en nuestro campo de trabajo, la IA ha sido noticia por las herramientas generativas que permiten, a partir de un aprendizaje con un número determinado de datos preseleccionados, crear imágenes, sonidos, vídeos y cualquier producto que queramos imaginar. Su aplicación indiscriminada en diversos ámbitos, también en el patrimonio y la historia, ha inundado las redes de imágenes y creaciones que no responden a tal proceso creativo, ni cumplen con ningún requisito técnico, documental o de rigor comparativo, ya que el proceso es totalmente aleatorio e inconsciente, sin más intervención humana que el lanzamiento de un *prompt*, una frase con una sintaxis específica que expresa una idea, y la selección de unos resultados para ejecutar nuevas iteraciones a partir de éstos hasta conseguir el resultado deseado.

Conocedores de los peligros que el uso inadecuado de esta tecnología puede entrañar, lo cierto es que la IA bien aplicada a herramientas de software nos permite acelerar procesos de trabajo y mejorar los resultados en tareas de aprendizaje profundo. En este sentido, nos permite afinar el procedimiento basándose en datos previamente caracterizados como más parecidos a la realidad, dando lugar, por ejemplo, a procesos de cálculo de imágenes en mejor tiempo y con resultados más correctos.

Este es precisamente uno de los campos que está revolucionando el renderizado en Real Time. Donde una tarjeta gráfica ejecuta cálculos de iluminación a velocidades vertiginosas para ofrecer al usuario un movimiento fluido en tiempo real por un entorno 3D, la IA puede mejorar ese proceso al ser capaz de reducir el número de imágenes por segundo que la tarjeta gráfica debe generar, rellenando los huecos con imágenes inventadas, basadas en la anterior, y la predicción de cómo será la posterior, todo ello de forma más rápida y fluida. Sin embargo, y como ya indicábamos con anterioridad, su aplicación debe realizarse con cautela y siendo conscientes de la naturaleza que posee el resultado final, pues estas IA generativas solo dan lugar a falsedades que reproducen y crean estereotipos, mitos y errores que terminan siendo difundidos por nuestra propia cultura visual. Muchos de ellos encuentran en el cine, la televisión o los videojuegos su mejor plataforma gracias a la creación de imágenes atractivas de aspecto cinematográfico, a veces pictóricas, en forma de fantásticas ilustraciones o pinturas al estilo de cualquier artista reconocido (Venegas, 2021).

Dicho todo esto, podemos concluir que las tecnologías IA podrán ser parte integrante tanto de las herramientas de software como de los procesos de trabajo en el marco de cualquier profesión, pudiendo contribuir al análisis de datos y a la toma de decisiones, pero, difícilmente, podrán sustituir la capacidad crítica y la creatividad humana.

BIBLIOGRAFÍA

- BERNARDI, D. y FURFERI, R. (2007): *Restauro virtuale, Tra ideologia e metodologia*, Ed. Firenze, Firenze.
- CARRANZA, L. M., FORTEA, M., RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, E., CELESTINO, S. y CASALS, J. R. (e.p.): “La bóveda de la habitación H-100 del yacimiento de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz, España). Hipótesis e interpretaciones a partir de la evidencia arqueológica”, *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad Autónoma de Madrid*, e.p.
- CARRIÓN, B. M. C. (2021): “Y el reloj se detuvo. La (re)definición de los museos ante la Covid-19”, *Cuicuilco. Revista de Ciencias Antropológicas* 28:81, pp. 126-147.
- CELESTINO PÉREZ, S. y BAQUEDADO, E. (eds.) (2023a): *Los últimos días de Tarteso*, Museo Arqueológico y Paleontológico de la Comunidad de Madrid, Alcalá de Henares.
- CELESTINO PÉREZ, S. y BAQUEDADO, E. (eds.) (2023b): *Catálogo de la Exposición Los últimos días de Tarteso*, Museo Arqueológico y Paleontológico de la Comunidad de Madrid, Alcalá de Henares.
- CELESTINO PÉREZ, S. y RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, E. (2019): “Un espacio para el sacrificio: el patio del yacimiento tartésico de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz)”, *Complutum* 30:2, pp. 343-366. <https://doi.org/10.5209/cmpl.66337>
- CELESTINO PÉREZ, S., RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, E., CARRANZA, L. M. y PULIDO, G. (2023): “The Tartessian Building of Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz, Spain): 2015-2022 Campaigns”, *Madrid Mitteilungen* 64, pp. 38-94. <https://doi.org/10.34780/6wbf-06fe>
- CELESTINO PÉREZ, S., RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, E. y DONATE, I. (2018): “Las cerámicas pintadas con bicromía poscocción de la vertiente Atlántica Ibérica”, *Zephyrus* 82, pp. 119-148. <https://doi.org/10.14201/zephyrus201882119148>
- CELESTINO, S., RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, E., GUTIÉRREZ GARCÍA, A. y DORADO, A. (2023): “A los pies de la diosa. Contexto y análisis de la escultura de mármol griego documentada en el patio del yacimiento tartésico de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz, España)”, *Complutum* 34:2, pp. 441-460. <https://doi.org/10.5209/cmpl.92263>
- CHAQUERO, A. M. (2016): “Prácticas y usos de la fotogrametría digital en arqueología”, *DAMA. Documentos de Arqueología y Patrimonio Histórico* 1, pp. 139-157.
- CHOL, B. y KIM, J. (2021): “Changes and challenges in museum management after the COVID-19 Pandemic”, *Journal of Open Innovation: Technology, Market and Complexity* 7:148, pp. 1-18. <https://doi.org/10.3390/joitmc7020148>
- CODINA FALGAS, F., DE PRADO, G., RUIZ, I., y SIERRA, A. (2017). “El proyecto de reconstrucción virtual de la ciudad ibérica de Ullastret”, en *La Ciencia y el arte VI: Ciencias experimentales y conservación del patrimonio*, Ministerio de Educación Cultura y Deporte, Subdirección General de Documentación y Publicaciones, Madrid, pp. 246-254.
- DEL CASTILLO, I., ISABEL, S., CRESPO, A. y DÍAZ MORENO, M. A. (2017): “Desde las técnicas fotogramétricas a la divulgación del patrimonio arqueológico de la Guerra Civil Española en Pinto (Madrid)”, *Revista Otarq* 2, pp. 239-250.
- DE LAS HERAS, C. y LASHERAS, J. A. (2009): “Conservar y proteger la cueva de Altamira”, *Medio siglo de arqueología en el Cantábrico Oriental y su Entorno* (A. Llanos Ortiz, ed.), Diputación Foral de Álava e Instituto Alavés de Arqueología, Vitoria, pp. 1041-1048.
- ESCRIVA ESTEVAN, F. y MADRID GARCÍA, J. A. (2010): “El mundo virtual en la restauración. Aplicaciones virtuales para la conservación y restauración del patrimonio”, *ARCHÉ. Publicación del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la UPV* 4-5, pp. 11-20.
- FERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, V., SUÁREZ SUÁREZ, M. A. y CALAF, R. (2022): “La virtualidad de los museos tras la pandemia: perspectivas de futuro”, *Revista Internacional de Museos Inclusivos* 1:1, pp. 51-62. <https://doi.org/10.18848/2770-4734/CGP/v01i01/51-62>
- GALEANO, M., TORRES-MARTÍNEZ, J. F., FERNÁNDEZ-GÖTZ, M. y MANCÍA GÓMEZ, J. (2021): “Restauración virtual y propuesta de

- presentación de las fortificaciones del *oppidum* de Monte Bernorio”, *Proyectando lo oculto. Tecnologías LiDAR y 3D aplicadas a la Arqueología de la Arquitectura Protohistórica* (L. Berrocal-Rangel, ed.), Anejos de CuPAUAM 5, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, pp. 383-397.
- IBORRA, P. (2023): “Rebaños: riqueza y ritualidad. Las evidencias arqueozoológicas de las comunidades de la Primera Edad del Hierro”, *Tarteso. Nuevas fronteras* (S. Celestino y E. Rodríguez González, eds.), Serie Mytra, 12, vol. I, Instituto de Arqueología, Mérida, pp. 313-330.
- IBORRA, P., ALBIZURI, S., GUTIÉRREZ RODRÍGUEZ, M., JIMÉNEZ FRAGOSO, J., LIRA, J., MARTÍN CUERVO, M., MARTÍNEZ SÁNCHEZ, R., MARTÍNEZ VALLE, R., MAYORAL, A.I., NIETO, A., RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, E., VALENZUELA, S. y CELESTINO, S. (2023): “Mass animal sacrifice at Casas del Turuñuelo (Guareña, Spain): a unique Tartessian (Iron Age) site in the southwest of the Iberian Peninsula”, *PLoS ONE* 18:11, e0293654. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0293654>
- IGN (2019): *La neocueva. Creación del modelo digital para su réplica*. Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana. (<https://www.culturaydeporte.gob.es/mnaltamira/dam/jcr:80bc52b5-d708-4dbc-a38a-480c4c6fd08d/neocueva-creacion-del-modelo-digital.pdf>) (Consultado con fecha: 19/09/2023).
- LASHERAS, J. A. (2006): “La neocueva: un espacio singular del Museo de Altamira”, *Museos, espacio e discurso, IX Coloquio galego de museos, Lugo 26,27, 28 de outubro de 2006*, Museo Provincial, Deputación de Lugo, Lugo, pp. 203-213.
- LIRA, J., ALBIZURI, S., ALONSO, J. M., APARICIO, M. A., BOVER, P., BRAVO BARRIGA, D., FRONTERA, E., GARCÍA SÁNCHEZ, A., GIL MOLINO, M., HIDALGO, S., IBORRA, P., IGLESIAS, M., MARTÍN CUERVO, M., MARTÍNEZ SÁNCHEZ, R., MARTÍNEZ VALLE, R., MAYORAL, A., NIETO ESPINET, A., REINA, D., REY, J., VALENZUELA, S., RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, E., CELESTINO PÉREZ, S. y JIMÉNEZ, J. (2020): “Los caballos sacrificados del yacimiento tartésico de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz): un estudio multidisciplinar”, *Revista del Colegio Oficial de Veterinarios de Badajoz* 20, pp. 6-15.
- LÓPEZ-MENCHERO, V. M. (2013): “International Guidelines for Virtual Archaeology: the Sevilla Principles”, *Good practice in archaeological diagnostics: non-invasive survey of complex archaeological sites* (C. Corsi, B. Slapsak y F. Vermeulen, eds.), Springer, pp. 269-283.
- LÓPEZ-MENCHERO, V. M. y GRANDE, A. (2011): “Hacia una Carta Internacional de Arqueología Virtual. El borrador SEAV”, *Virtual Archaeology Review* 2:4, pp. 71-75. <https://doi.org/10.4995/var.2011.4558>
- 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, Granada. <http://hdl.handle.net/10481/62261>
- MARTÍN GÓMEZ, B., RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, E. y CELESTINO PÉREZ, S. (2021): “Restauración virtual y recreación de uno de los jarros de bronce de la estancia del banquete (S-1) del yacimiento de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz), los medios digitales como continuidad de la restauración física”, *MetalEspaña 2020/2021. III Congreso de Conservación y Restauración del Patrimonio Metálico* (J. Barrio y M. Buendía, eds.), Anejos de CuPAUAM, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, pp. 97-106.
- OATES, D. (1970): “The excavations at Tell al Rimad, 1968”, *Iraq* 32:1, pp. 1-26.
- PIQUER, J. C., CAPILLA-TAMBORERO, E. y MOLINA-SILES, P. (2015): “La reconstrucción virtual del patrimonio arquitectónico y su aplicación metodológica”, *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica* 20:25, pp. 258-267. <https://doi.org/10.4995/ega.2015.3674>
- QUEZADA-TELLO, L. y VÁZQUEZ-AGUADO, O. (2022): “La realidad virtual aplicada para educar en patrimonio en tiempo de COVID-19. Museos ecuatorianos”, *Redes sociales y ciudadanía: ciberculturas para el aprendizaje* (J. Aguaded, A. Vizcaíno, A. Hernando y M. Bonilla, eds.), Grupo Comunicar Ediciones, Huelva, pp. 275-281.

- RASCÓN, S. y SÁNCHEZ MONTES, A. L. (2008): "Las nuevas tecnologías aplicadas a la didáctica del patrimonio", *Pulso: revista de educación* 31, pp. 67-92.
- RIVERO, P. y FELIU, M. (2017): "Aplicaciones de la arqueología virtual para la Educación Patrimonial: análisis de tendencias e investigaciones", *Estudios Pedagógicos XLIII*:4, pp. 319-330.
- RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, E., CARBONELL, S. y CASALS, J. R. (2019): "Lost colours: photogrammetry, imagen analysis using the DStretch plugin, and 3D modelling of post-firing painted pottery from the south west Iberian Peninsula", *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 13, e00093. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00093>
- RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, E., CASALS, J. R. y 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, pp. 38-53. <https://doi.org/10.4995/var.2023.17460>
- RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, E. y CELESTINO PÉREZ, S. (2017): "Las estancias de los dioses: la habitación 100 del yacimiento de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz)", *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad Autónoma de Madrid* 43, pp. 179-194. DOI: <https://doi.org/10.15366/cupauam2017.43.006>
- RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, E. y CELESTINO PÉREZ, S. (2022): "Construyendo Tarteso": un proyecto multidisciplinar para abordar el conocimiento de Tarteso a través de la arquitectura de tierra", *Adobes & cia. Estudios multidisciplinarios sobre la construcción en tierra desde la prehistoria hasta nuestros días* (O. Rodríguez y A. Jiménez, eds.), Spal Monografías Arqueología XLVIII, Editorial Universidad de Sevilla, Sevilla, pp. 59-78.
- RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, E., CELESTINO PÉREZ, S., MEDINA, M.^a C., ZUCCHIATTI, A. y BARRIO MARTÍN, J. (2023): "Trade with the West. Glass bowls of Eastern Mediterranean origin found in the courtyard of the Casas del Turuñuelo site (Guareña, Badajoz, Spain): archaeological context, analysis and conservation", *Journal of Archaeological Science: reports* 50, 104029. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2023.104029>
- RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, E., WALID, S. y PULIDO, J. J. (2020): "Tarteso en Comunidad nace como forma de vincular a la ciudadanía de Guareña con el yacimiento del Turuñuelo", *Revista PH. Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico* 101, pp. 15-17. <https://doi.org/10.33349/2020.101.4647>
- RODRÍGUEZ-TEMIÑO, I., RUIZ-CECILIA, J. I., JIMÉNEZ-HERNÁNDEZ, A., LÓPEZ-SÁNCHEZ, J. y GONZÁLEZ-ACUÑA, D. (2016): "El SICAC: un sistema de información para el Conjunto Arqueológico de Carmona (Sevilla, España)", *Manual de Tecnologías de la Información Geográfica aplicadas a la Arqueología* (M.^a del C. Mínguez García y E. Capdevilla, coords.), Comunidad de Madrid, Madrid, pp. 317-340.
- ROIGÉ, Z. y CANALS, A. (eds.) (2021): *Patrimonios confinados. Retos del patrimonio inmaterial ante el COVID-19*, Editorial Universidad de Barcelona, Barcelona.
- STAROPOLI, L., ACEVEDO, V. J., ÁVIDO, D. N. y VITORES, M. (2023): "Reflections of the practice of digital archaeology: virtual cultural heritage construction and communication", *Journal of Archaeology Review* 14:29, pp. 118-135. <https://doi.org/10.4995/var.2023.19292>
- TORREÑO, J. L. (2022): *Análisis de la fotogrametría como técnica aplicada a la protección, investigación y difusión del patrimonio histórico-arqueológico*, Trabajo Fin de Máster, Universidad de Cádiz. <http://hdl.handle.net/10498/27627>
- VENEGAS, A. (2021): "La imagen digital y virtual: un reto para el historiador y el discurso historiográfico contemporáneo", *Historiografía* 22, pp. 53-74.
- VIZCAÍNO, D., BIENES, J. J., BRAVO, E. y SOLER J. M.^a (2013): "La reconstrucción virtual del patrimonio arqueológico al servicio de la divulgación y puesta en valor de la Villa Romana de Liédena (Navarra, España)", *Journal of Archaeology Review* 4:8, pp. 104-108. DOI: <https://doi.org/10.4995/var.2013.4332>
- WALID, S., PULIDO, J. J. y RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, E. (2020): *Arqueología y Procomún. Guía para el desarrollo de procesos de*

ciencia comunitaria en el rural, Instituto de Arqueología (CSIC - Junta de Extremadura), Mérida.

WALID, S., PULIDO, J. J. y RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, E. (2024): "TARSisSCIEN-

CE.Comunidades de aprendizaje en torno al yacimiento de Casas del Turuñuelo", UNES. Universidad, Escuela y Sociedad 18, pp. 210-224. <https://doi.org/10.30827/unes.i18.31223>