

Nuevas herramientas para la representación y virtualización del Patrimonio Arquitectónico y Arqueológico: estudiando nuestro legado cultural mediante el uso de tecnologías inmersivas.

Covadonga Lorenzo-Cueva^(*), María José Delgado Cruz^(**), Hipólito Sanchíz Álvarez de Toledo^(***) y Sofía Sanz González de Lema^(****)

Resumen: El presente artículo se centra en la aplicación de tecnologías inmersivas para la reconstrucción tridimensional y la virtualización del patrimonio arquitectónico y arqueológico a partir de tres casos de estudio que exploran diferentes tecnologías. En el primero se emplean drones para realizar fotografías aéreas que permitan la reconstrucción tridimensional de un yacimiento arqueológico mediante fotogrametría para su posterior virtualización. En el segundo, se usan escáneres de alta precisión y termografías para su reconstrucción y visualización mediante gafas de realidad virtual. Finalmente, en el tercero se ha realizado una reconstrucción mediante un modelado tridimensional para la creación de un entorno virtual.

Palabras clave: Arquitectura - Arqueología - Tecnologías inmersivas - patrimonio
Resúmenes en inglés y portugués al final del artículo.

[Resúmenes en inglés y portugués en la página 100]

^(*) Covadonga Lorenzo-Cueva es Doctora Arquitecta. Se graduó en la Universidad Politécnica de Madrid y es Profesora Adjunta en el Grado en Arquitectura de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad CEU-San Pablo, donde es Directora del Laboratorio de Fabricación Digital (Fab Lab Madrid CEU).

^(**) María José Delgado Cruz. Magíster en Ordenación del Territorio Universidad Estatal de Cuenca (2018), Arquitecto por la Universidad Técnica Particular de Loja (2008). Experiencia como docente Investigador Universidad Internacional del Ecuador-sede Loja UIDE (2011), Universidad Técnica Particular de Loja, Escuela de Arquitectura - Departamento de Arquitectura y Arte (2010-2013/2014 hasta la fecha), investigación y colaboración estudios INPC regional 7 (Loja, Zamora y el Oro) y 6 (Azuay, Cañar, Morona Santiago) (2019), Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Arquitectura y Urbanismo (2021).

(***) Hipólito Sanchiz Álvarez de Toledo es Doctor en Historia Antigua por la Universidad Complutense de Madrid y profesor adjunto de Historia Antigua de la Facultad de Humanidades y C.C. de la Comunicación de la Universidad CEU-San Pablo, donde imparte Prehistoria, Historia Antigua del Oriente Próximo, Arqueología y Antropología Cultural.

(****) Sofía Sanz González de Lema. Licenciada en Historia y Doctorada en Prehistoria y Arqueología por la Universidad Autónoma de Madrid. Investigaciones destacadas sobre el yacimiento de Quillusara, Celica, Ecuador (conjunto megalítico con petrogrifos) y la arquitectura shuar del Oriente ecuatoriano.

Introducción

En los últimos años, las tecnologías inmersivas han abierto nuevas posibilidades para la representación y preservación del patrimonio, ya que permiten a los usuarios sumergirse en entornos virtuales y experimentar de manera interactiva la riqueza histórica y cultural de los sitios arquitectónicos y arqueológicos. Con estas tecnologías se han llevado a cabo diversas experiencias orientadas a la representación del patrimonio que han tenido un impacto significativo en la forma en que éste se divulga y se preserva. Además, estas tecnologías han sido fruto de análisis crítico en numerosos proyectos de investigación que tratan de analizar su impacto y aplicación en el campo del patrimonio.

Así Robles y Quirosa (2015) afirman que, aunque la irrupción de las nuevas tecnologías como instrumento de conocimiento del patrimonio histórico es muy reciente, su gran utilidad como soporte para la difusión y la investigación patrimonial ha quedado plenamente demostrado, como indican las numerosas instituciones, centros de investigación y empresas del sector público y privado de nuestro país que han apostado por estos nuevos instrumentos como complemento a proyectos integrales de restauración, musealización y divulgación de nuestro legado cultural. Salazar (2021), por su parte, ha puesto de manifiesto la utilidad del georradar, la fotogrametría, el escaneado tridimensional, los sistemas de información geográfica, las cámaras 360 grados y la realidad virtual para la documentación e investigación de espacios patrimoniales.

En cuanto a la aplicación práctica de estas tecnologías, cabe destacar el proyecto de Duclos y Cousillas (2013), en el que proponen un recurso interactivo para la difusión y accesibilidad del patrimonio arquitectónico y arqueológico, mediante la utilización de técnicas de modelado tridimensional empleadas en recorridos interactivos e inmersivos gracias al uso de la realidad virtual mediante dispositivos móviles. El recurso, además de ser una herramienta para la gestión del patrimonio, es una medida para permitir la accesibilidad virtual al patrimonio de personas con movilidad reducida o algún tipo de diversidad funcional. Por su parte, Bevilacqua et al. (2022) propone diferentes soluciones innovadoras para la apreciación del patrimonio cultural tangible o intangible a partir de su representación, a

través de modelos virtuales tridimensionales que se ubican en entornos virtuales inmersivos e interactivos. Con ellos facilitan la comprensión de los espacios arquitectónicos a estudiar, a partir de la inmersión de los visitantes en dichos ámbitos empleando tecnologías de realidad virtual.

Cabe destacar también el proyecto de Torres et al. (2022), centrado en la virtualización del yacimiento arqueológico de la Motilla del Azuer, en la localidad de Daimiel, donde la incorporación de tecnologías para la reconstrucción tridimensional y su virtualización a partir del empleo de realidad virtual han supuesto un impulso relevante para favorecer la gestión de este legado, generándose además materiales de gran utilidad para el conocimiento y promoción del patrimonio. También resulta muy interesante el trabajo desarrollado por el laboratorio de Fotogrametría y Escaneo Láser de la Universidad HafenCity de Hamburgo (Kersten et al., 2017) que ha desarrollado un modelo virtual del Museo Alt-Segeberger Bürgerhaus, un edificio histórico que ofrece a los visitantes un recorrido interactivo para visitar la exposición mediante el uso de realidad virtual partiendo de modelados tridimensionales. Con ello, se ha logrado mejorar la experiencia de los visitantes, al proporcionar acceso a materiales adicionales para la revisión y estudio del contenido de las exposiciones, ya sea antes o después de la visita, o en el caso de que ésta no fuera posible de manera presencial.

En general, el estado de la cuestión nos muestra que las virtualización del patrimonio a partir de modelados tridimensionales permite recrear entornos detallados y realistas que ofrecen a los usuarios, a través de una experiencia inmersiva, explorar y examinar digitalmente el patrimonio arquitectónico y arqueológico en su estado original, permitiendo transitar por el interior de edificios históricos, ofreciendo una experiencia interactiva que facilita la comprensión de la arquitectura y el contexto y es extraordinariamente útil para documentar y preservar digitalmente nuestro legado histórico.

Aplicaciones en tres casos de estudio

En este contexto de experimentación en torno a las nuevas tecnologías para la reconstrucción tridimensional y la virtualización en el campo del patrimonio arquitectónico y arqueológico, el presente artículo describe tres casos de estudio que exploran diferentes tecnologías para el modelado tridimensional que permita la virtualización del legado patrimonial. En primer lugar, se expondrá una iniciativa realizada en el programa *Arqueología de la Arquitectura* del Laboratorio de Fabricación Digital de la Universidad San Pablo-CEU (Fab Lab Madrid CEU) donde se exploraba el uso de la fotogrametría para el levantamiento de los restos arqueológicos del asentamiento de Los Hitos, en Arisgotas (Toledo). En él, además de modelados tridimensionales y virtualizaciones, se generaron maquetas para la reconstrucción de los edificios del emplazamiento empleando tecnologías de fabricación digital, como fresadoras e impresoras 3D para su estudio y análisis en profundidad. En segundo lugar, se presentarán las actividades relacionadas con el proyecto de investigación *Quillusara, una puerta al pasado* de la Universidad Técnica Particular de Loja, cen-

trado en la aplicación de tecnologías digitales para el levantamiento tridimensional de dos de los ortostatos del complejo y el registro de los petroglifos grabados sobre la superficie de ambos. Para ello, se realizó un levantamiento empleando fotogrametría y además, un modelado tridimensional a partir de los datos recogidos con un escáner de alta precisión y termografía infrarroja de los petroglifos grabados para su posterior análisis y lectura. Y finalmente, se mostrarán las actividades relacionadas con el proyecto de innovación docente *Arqueología de la Arquitectura a través del Mundo Virtual* por la Universidad Técnica Particular de Loja (Ecuador). Como resultado se diseñó un entorno virtual de una casa shuar partiendo de los registros arqueológicos y antropológicos y se realizó una reconstrucción tridimensional del modelo ideal de dicha arquitectura, atendiendo a los detalles constructivos, arquitectónicos y culturales, cuidándose especialmente la relación entre arquitectura y cosmogonía de la cultura shuar.

El empleo de fotogrametría para la reconstrucción virtual

El primer caso que se presenta explora el uso de la fotogrametría para el levantamiento de los hallazgos arqueológicos del asentamiento de Los Hitos, en Arisgotas, realizado dentro del programa *Arqueología de la Arquitectura* que se realizó en el Laboratorio de Fabricación Digital de la Universidad San Pablo-CEU (Fab Lab Madrid CEU). Hasta la fecha, en el yacimiento arqueológico de Los Hitos (Morín et al., 2020) se han excavado dos grandes edificios: un pabellón palatino y una iglesia visigoda, además de algunas viviendas en el espacio perimetral, lo que configura un conjunto a analizar en próximas campañas. Nuestra colaboración con este proyecto consistió en el uso de tecnologías para la representación del yacimiento y la elaboración de maquetas empleando tecnologías de fabricación digital. En primer lugar, a partir de fotografías tomadas con drones de bajo coste, se utilizaron dos programas de fotogrametría para crear un modelo tridimensional del yacimiento, que fue útil para digitalizar con precisión el lugar y para generar información cartográfica muy útil para la investigación de los hallazgos y su divulgación. El procesado de las fotografías en el software de fotogrametría generó un modelado tridimensional con textura hiperrealista en cuatro etapas. En primer lugar, se realizó el alineado de las imágenes, donde se localizaron los puntos comunes entre ellas y la posición de la cámara en cada caso. A partir de aquí se generó una nube de puntos con la que se creó una malla poligonal tridimensional que representaba la superficie del objeto. Por último, se aplicó la textura hiperrealista sobre el modelado tridimensional, el cual se puede visualizar empleando gafas de realidad virtual para conseguir una sensación inmersiva muy útil para difundir los hallazgos del yacimiento. Además, a partir de este modelo tridimensional se obtuvo una ortofotografía y un modelo DEM, a partir de los cuales pudimos obtener la topografía de la zona empleando sistemas de información geográfica, teniendo así una representación precisa de la zona del yacimiento.

Una vez obtenido el modelado tridimensional a partir de técnicas de fotogrametría obtuvimos la representación del sitio arqueológico en el que se podía apreciar la zona de exca-

vacación con la cimentación de la iglesia y el palacio. Tras las primeras hipótesis elaboradas por el grupo de arqueólogos (Barroso et al., 2017), realizamos los planos técnicos de la iglesia y el palacio, así como su modelado tridimensional para la reconstrucción virtual de ambos edificios. De este modo, conseguimos, no sólo la representación digital de la situación del yacimiento arqueológico, sino también la reconstrucción virtual de ambos edificios.

Por otro lado, el modelado tridimensional también se empleó para la fabricación de una maqueta usando tecnologías de fabricación digital (Gershenfeld, 2005, 2017). Para ello se empleó una fresadora y una impresora 3D. Con la fresadora realizamos la maqueta del yacimiento arqueológico, tratando de reproducir con esta tecnología sustractiva, la tarea de un arqueólogo que consiste en excavar para hacer visibles las huellas de las construcciones. Del mismo modo, la fresadora partía de un bloque de madera sobre el cual, la fresa iba profundizando para esculpir la pieza hasta conseguir una representación muy precisa del yacimiento. Además, también se construyó con impresión 3D la iglesia y el palacio según las hipótesis planteadas por los arqueólogos. Para ello, una vez obtenido el modelado tridimensional, se creó una malla de cada parte de los edificios para fabricarlas con una impresora 3D empleando un proceso de fabricación aditiva conocido como modelado por deposición fundida (FDM). Éste permitió fabricar el modelo con un material llamado ácido poliláctico (PLA), un termo políéster plástico derivado de almidón vegetal fermentado. Las maquetas realizadas por los alumnos se encuentran actualmente expuestas en el Museo de Arte Visigodo de Arisgotas, en Toledo, junto a un conjunto de restos arqueológicos encontrados en la última campaña y los materiales audiovisuales que explican el proyecto arqueológico y el proceso de excavación.

El uso de escáner tridimensional y termografía

El proyecto de investigación *Quillusara, una puerta al pasado* (Sanz et al., 2014) es un proyecto de la Universidad Técnica Particular de Loja (Ecuador) centrado en el estudio del yacimiento arqueológico de Quillusara. El yacimiento se encuentra en el cantón de Celica, en la provincia de Loja. Este monumento megalítico de arte rupestre se ubica a tres kilómetros al norte de la parroquia de Sabanilla y a dos kilómetros al noroeste de la población de El Muerto. En cuanto a su antigüedad, podría relacionarse con el final del Formativo (500 a.C-300 a.C) y Desarrollo Regional (300 a.C-600 d.C) pero por la presencia de ciertos motivos iconográficos el monumento estuvo en activo también durante el periodo inca (siglos XV-XVI d.C). Respecto a su función, la disposición de los ortostatos (orientación, ordenamiento, alineamientos en ciertos sectores) e iconografía indican que se trató de un espacio sagrado, cuyo carácter sacro perduró durante miles de años a pesar del tiempo y de los diferentes pueblos que habitaron la región. La colaboración de Fab Lab Madrid CEU con el proyecto de investigación se ha centrado en la aplicación de tecnologías digitales para el levantamiento tridimensional de dos de los ortostatos del complejo y el registro de los petroglifos grabados sobre la superficie de ambos.

La primera fase se centró en la búsqueda de tecnologías digitales que permitieran un levantamiento tridimensional preciso de los ortostatos del sitio arqueológico, ya que debido a su naturaleza y al emplazamiento se hacía difícil obtener la precisión necesaria empleando técnicas de levantamiento tradicionales. Para cumplir con este objetivo se estableció una primera fase de actuación, que se centraría en el levantamiento tridimensional de dos ortostatos, a partir del cual pudiera establecerse un método de trabajo que permitiera el levantamiento del resto. El levantamiento fotogramétrico se consideró el método más apropiado para realizar un modelo tridimensional lo suficientemente preciso. Para la toma de datos se empleó una cámara réflex Canon EOS 100D calibrada convenientemente. La primera sesión fotográfica se realizó en el mes de julio a mediodía en unas condiciones de iluminación muy poco convenientes, con luces muy intensas que al incidir sobre algunas superficies de los ortostatos generaban a su vez sombras propias y arrojadas muy pronunciadas. Por este motivo, se realizó una nueva secuencia fotográfica en condiciones de iluminación más favorables a primera hora de la mañana. Al amanecer, la iluminación era homogénea en todas las caras del modelo y la escasa intensidad de luz no generaba apenas sombras, con lo que la calidad de las imágenes aumentó considerablemente. El resultado del levantamiento tridimensional quedó recogido en animaciones que mostraban visualizaciones de los ortostatos en tres dimensiones que podían visualizarse con gafas de realidad virtual y archivos que incorporaban el modelado tridimensional, que podía ser utilizado para obtener plantas, alzados, secciones e incluso reproducciones tridimensionales empleando una impresora 3D.

Además, para el reconocimiento y representación de los petroglifos empleamos un escáner láser, termografía y fotografía con luz rasante. Un escáner tridimensional es un dispositivo que emite luz láser para determinar la forma y posición de un objeto, ayudándose de una cámara para localizar la traza laser proyectada sobre el objeto. Apoyados de esta tecnología registramos los petroglifos de dos paneles de dos ortostatos y obtuvimos una representación tridimensional de ambos que nos permitió su visualización en la pantalla de un ordenador, en un dispositivo móvil o en gafas de realidad virtual. También sería posible, a partir de este modelado, la fabricación de una maqueta con tecnologías de fabricación digital. Por otro lado, también realizamos una visita nocturna al yacimiento para la realización de fotografías con luz rasante, una técnica no invasiva que nos permitió, a partir de barridos sobre los ortostatos definir con mayor precisión algunos petroglifos difíciles de reproducir con luz diurna, e incluso detectar algunos más.

Finalmente, empleamos termografía infrarroja, una técnica que permite obtener la temperatura del cuerpo emisor a partir de la medición de la energía irradiada en el rango infrarrojo (0,7 a 15 micras). La toma de datos se realizó con una cámara termográfica radiométrica que expresaba los resultados en una imagen o termograma. Los termogramas nos permitieron detectar los petroglifos grabados en los ortostatos con mayor precisión. La primera sesión de toma de datos se realizó en el mes de julio a mediodía en una jornada con temperaturas en torno a los treinta grados centígrados, pero con cielos totalmente despejados, lo que generó variaciones de temperatura significativas durante la toma de datos. Estos datos incidieron de manera decisiva en los resultados obtenidos, que no fueron del todo satisfactorios ya que el éxito de la toma de datos depende del gradiente térmico:

a mayor diferencia de temperatura, mayor nitidez en la imagen. Aun así, gracias al termograma se detectó parte de un petroglifo imperceptible a la vista situado a la derecha del motivo principal de uno de los paneles de un ortostato. Tras los resultados de la primera toma de datos, se planificó una nueva sesión a última hora de la tarde; convinimos que, en ese momento, se produciría el momento de mayor irradiación de temperatura en la superficie de los ortostatos y existiría, por tanto, mayor contraste con la temperatura ambiente, lo que esperábamos nos proporcionara resultados más nítidos. La segunda sesión de la toma de datos nos permitió obtener una secuencia de termografías de los petroglifos del panel de un ortostato, gracias a un barrido vertical. El tratamiento con filtros de las imágenes originales permitió visualizar en detalle los petroglifos ubicados sobre este panel.

Un entorno virtual a partir de un modelado tridimensional

El tercer caso de estudio se realizó en el marco del proyecto de innovación docente “Arqueología de la Arquitectura a través del Mundo Virtual” (2021) en la Universidad Técnica Particular de Loja (Ecuador). El objetivo de esta actividad docente fue la mejora del aprendizaje en las materias de Historia de la Arquitectura y para ello se planteó aprovechar el espacio virtual que la universidad ofrecía en Mundo UTPL. La propuesta fue la reconstrucción ideal y digital de una casa tradicional (maloca) de la etnia shuar sita en el sureste de Ecuador, arquitectura que se encuentra en peligro de desaparecer (Herrera, 2008). Para dicha reconstrucción se ha realizado la recolección de información sobre el sistema constructivo, materiales y organización de espacios (Bianchi et al., 1982, Bianchi, 1978; Herrera, 2008), sobre la interpretación de la maloca como espacio social (Juncosa, 2005) y, finalmente, sobre la relación de la cosmogonía shuar (mitología shuar) y los procesos constructivos y diseño de este espacio (Sanz y Herrera, 2019) desde la etnoarqueología (Rostein, 2005). Por otro lado, para la distribución del mobiliario se tuvo especial cuidado a las referencias dadas por la antropología, así como las referencias presentes en la mitología shuar.

La casa shuar tiene una planta oval cuyo eje mayor siempre está orientado Este-Oeste con dos puertas en cada extremo, pudiendo alcanzar diez metros de longitud por dos metros de ancho, aunque estas medidas han variado a lo largo del tiempo. La casa se organiza en torno a dos ejes: el eje horizontal se caracteriza por la división del espacio en masculino (Tankamash, puerta oeste) y femenino (Ekent, puerta Este). En cuanto al eje vertical, el poste sagrado Pau es el punto de referencia de la casa, es la vía de unión entre el cielo, la tierra y el submundo (Sanz y Herrera, 2017). La casa sólo tiene una altura, que puede alcanzar en su punto más alto siete metros en el centro de la habitación y dos metros en los laterales. Los muros exteriores no tienen ventanas y se construyen con la alineación de palos de chonta. La chonta es el material principal de la arquitectura shuar; para la cubierta, la techumbre está realizada con hojas de palma trenzadas.

La reconstrucción de la casa shuar ofrecía la oportunidad de navegar dentro en un entorno virtual, donde se pudiesen ver en detalle los materiales y sistemas constructivos, a la vez que eran explicados los principios simbólicos y cosmogónicos de la construcción. Así,

el resultado de la reconstrucción pasaría a ser el recurso didáctico basado en los principios de arqueología en 3D de una edificación histórica. Finalmente, la reconstrucción digital fue, en parte, resultado de las prácticas de Gestión Productiva 2.1. del grado de Arquitectura. Los programas básicos utilizados fueron AutoCAD 2022 y SketchUP Pro 2021 con el complemento Vray. Para las texturas y los colores se procedió a subir nuevos elementos que no existían en las bibliotecas, como madera y vegetación. Finalmente, el mobiliario y los objetos de uso cotidiano fueron modelados en 3D.

Conclusiones

En el presente escrito hemos tratado de exponer nuestra experiencia, a partir de tres casos de estudio sobre el uso de nuevas herramientas para la representación y virtualización del Patrimonio Arquitectónico y Arqueológico, tratando de profundizar en el estudio de nuestro legado cultural mediante el uso de tecnologías inmersivas. Para ello, hemos trabajado con diferentes tecnologías, a partir de las cuales ha sido posible realizar un modelado tridimensional que permitiera, a posteriori, su virtualización para un estudio en profundidad de nuestro legado patrimonial.

En el primer caso, hemos explorado el uso de fotogrametría para el levantamiento de los restos arqueológicos del asentamiento de Los Hitos, generándose a partir de esta tecnología un modelado tridimensional al que se aplica una textura hiperrealista que puede virtualizarse y convertirse en un entorno inmersivo empleando gafas de realidad virtual, que nos permiten recorrer el sitio arqueológico, ofreciendo la oportunidad de divulgar los descubrimientos de la excavación o estudiarlo en profundidad. En este caso, además, estos modelados tridimensionales, se emplearon también para fabricar maquetas para la reconstrucción de los edificios del emplazamiento empleando tecnologías de fabricación digital, como fresadoras e impresoras 3D. En el segundo caso, analizamos la aplicación de nuevas tecnologías para el levantamiento tridimensional de los ortostatos del complejo arqueológico de Quillusara y la representación de los petroglifos grabados sobre su superficie. Para ello, además de fotogrametría, se realizó un modelo tridimensional a partir de los datos recogidos con un escáner de alta precisión. Los petroglifos, por su parte se registraron gracias al uso de termografía infrarroja. Y finalmente, en el tercer caso, se ha empleado el modelado tridimensional a partir de programas de diseño asistido por ordenador para realizar un modelo virtual de una casa shuar partiendo de los registros arqueológicos y antropológicos, en el cual se añadieron los detalles constructivos, arquitectónicos y culturales, con especial atención a la relación entre arquitectura y cosmogonía de la cultura shuar.

A partir de estos casos de estudio hemos tratado de demostrar la validez de las nuevas tecnologías de representación y virtualización del patrimonio para profundizar en el análisis de nuestro legado cultural. Gracias a ellas, se abre la posibilidad, a partir de un modelado tridimensional generado de formas muy diversas, de sentirse inmerso en entornos virtuales, experimentando la riqueza histórica y cultural de nuestro patrimonio arquitectónico

y arqueológico. Además, estas tecnologías facilitan la accesibilidad virtual a nuestro legado cultural a personas con movilidad reducida o algún tipo de diversidad funcional. Por otra parte, permiten un mayor acercamiento a nuestro patrimonio tangible o intangible, gracias a su representación y a la generación de estos entornos virtuales inmersivos y finalmente, facilitan la divulgación de este legado, mejorando la experiencia de los visitantes, al proporcionar acceso a materiales adicionales para su revisión y estudio, ya sea antes o después de la visita a estos lugares, o en el caso de que ésta no fuera posible de manera presencial. Podemos, por tanto, concluir que la representación y virtualización del patrimonio, a partir de modelados tridimensionales precisos obtenidos mediante técnicas de fotogrametría, escaneados o modelados tridimensionales, permite recrear entornos detallados y realistas que ofrecen a los usuarios, a través de una experiencia inmersiva, la exploración virtual del patrimonio arquitectónico y arqueológico, a través de experiencias inmersivas que permiten profundizar en su estudio y son útiles para documentar y preservar digitalmente nuestro legado histórico.

Bibliografía

- Barroso Cabrera, R.; Carroble Santos, J.; Morín de Pablos, J. y Sánchez Ramos, I. (2018). *Los Hitos, Arisgotas, Orgaz (Toledo). Un palacio-panteón de época visigoda*. https://www.academia.edu/10508214/Los_Hitos_Arisgotas_Orgaz_Toledo_De_palacio_a_pante%C3%B3n_visigodo
- Bevilacqua, M. G.; Russo, M; Giordano, A y Spallone, R.(2022). 3D Reconstruction, Digital Twinning, and Virtual Reality: Architectural Heritage Applications. *Proceedings of the IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces*, 92-96, 10.1109/VRW55335.2022.00031.
- Bianchi, C. (1978). *La casa shuar*. Mundo Shuar, Quito.
- Bianchi, C. (1982). *Artesanías y técnicas shuar*. Abya Yala, Quito.
- Boboc, R. G.; Băutu, E.; Gîrbacia, F; Popovici, N. y Popovici, D. M. (2022). Augmented Reality in Cultural Heritage: An Overview of the Last Decade of Applications. *Applied Sciences*, 12 (19), 9859. <https://doi.org/10.3390/app12199859>
- Duclos Bautista, G. y Cousillas Ripoll, J. (2013). An Appeal for heritage interpretation and accessibility. Immersive and interactive virtual reality tours for mobile devices. *Virtual Archaeology Review*, 4(9), 148–153. <https://doi.org/10.4995/var.2013.4266>
- Gershenfeld, N. (2005) *FAB, the Coming Revolution on your Desktop*, Basic Books, Nueva York.
- Gershenfeld, N.; Gershenfeld, A. y Gershenfeld, J. C. (2017) *Designing Reality: How to Survive and Thrive in the Third Digital Revolution*, Basic Books, Nueva York.
- Gómez Robles, L. y Quirosa García, V. (2015). Nuevas tecnologías para difundir el Patrimonio Cultural: las reconstrucciones virtuales en España. *ERPH_ Revista electrónica de Patrimonio Histórico*, 4, 150–173. <https://revistaseug.ugr.es/index.php/erph/article/view/18249>

- Herrera, I. (2008). *La vivienda shuar al suroriente ecuatoriano*. Tesis de Maestría en Arquitectura, Universidad Autónoma de México.
- Juncosa, J. E. (2005). *Etnografía de la comunicación verbal shuar*. Abya Yala, Quito.
- Kersten, T. P.; Tschirschwitz, F. y Deggim, S. (2017). Development of a Virtual Museum Including a 4D Presentation of Building History in Virtual Reality. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W3, 361–367. <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLII-2-W3/361/2017/>
- Morín de Pablos, J.; Sánchez Ramos, I. y González de la Cal, J. R. (2020). Novedades arqueológicas del yacimiento de época visigoda de Los Hitos, Arisgotas (Orgaz, Toledo). *Actualidad de la investigación arqueológica en España II (2019-2020)*. Ministerio de Cultura y Deporte.
- Rostain, S. (2006). “Etnoarqueología de la casa Huapula y Jíbaro”. *Bulletin de l’Institut Française d’Études Andines* 35 (3), 337-346.
- Sanz, S.; Aguirre, E.; Arévalo, H.; Balcazar, C.; González, D.; Simaluiza, R.; Sanchíz, H.; Lorenzo, C. y Lorenzo, E. (2014). Quillusara, Entrance to the Past. Megalithic Phenomenon in Ecuador. *Actas del XVII World UISPP Congress. Union Internationale de Sciences Préhistoriques et Protohistoriques*, Burgos.
- Sanz, S.; Herrera, I. (2017). “La arquitectura shuar: ordenando el espacio mítico”. *Revista Española de Antropología Americana*, 47, 161-179.
- Torres Mas, M.; López-Menchero Bendicho, V. M.; López Tercero, J.; Torrejón Valdelomar, J. y Maschner, H. (2022). Digitization and Virtual Reality Projects in Archaeological Heritage. The Case of the Archaeological Site of Motilla del Azuer in Daimiel (Ciudad Real). *Virtual Archaeology Review*, 13(26), 135–146. <https://doi.org/10.4995/var.2022.15004>
- Trizio, I.; Demetrescu, E.; Ferdani, D. (2023). *Digital Restoration and virtual reconstructions. Case studies and compared experiences for cultural heritage*. Springer. DOI. 10.1007/978-3-031-15321-1
-

Abstract: This article focuses on the application of immersive technologies for the three-dimensional reconstruction and virtualization of architectural and archaeological heritage based on three case studies that explore different technologies. In the first, drones are used to take aerial photographs that allow the three-dimensional reconstruction of an archaeological site using photogrammetry for the virtualization. In the second, high-precision scanners and thermography are used for reconstruction and visualization using virtual reality glasses. Finally, in the third, a reconstruction has been carried out using three-dimensional modeling to create a virtual environment.

Keywords: Architecture - archaeology - immersive technologies - heritage

Resumo: Este artigo centra-se na aplicação de tecnologias imersivas para a reconstrução tridimensional e virtualização do património arquitetónico e arqueológico com base em três estudos de caso que exploram diferentes tecnologias. No primeiro, drones são utilizados para tirar fotografias aéreas que permitem a reconstrução tridimensional de um sítio arqueológico utilizando fotogrametria para a virtualização. No segundo, scanners de alta precisão e termografia são utilizados para reconstrução e visualização por meio de óculos de realidade virtual. Por fim, no terceiro, foi realizada uma reconstrução utilizando modelagem tridimensional para criar um ambiente virtual.

Palavras chave: Arquitetura – arqueología - tecnologias imersivas - patrimonio

[Las traducciones de los abstracts fueron supervisadas por su autor]
