

# Integración y optimización de modelos 3D para la puesta en valor del patrimonio cultural: estudio de caso del Castillo de Albánchez de Mágina (Jaén, España)

*Integration and optimization of 3D models for the enhancement of cultural heritage: case study of the Castle of Albánchez de Mágina (Jaén, Spain)*

■■■■  
José-Manuel Valderrama-Zafra<sup>1</sup>, Diego-Francisco García-Molina, Irene Cáceres-Criado<sup>2</sup>, Juan-Manuel Montalvo-Gil y Miguel-Ángel Rubio-Paramio<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Jaén (España)

<sup>2</sup> Universidad de Córdoba (España)

DOI: <https://doi.org/10.52152/D11295>

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la ingeniería y la arqueología trabajan juntas para abordar la documentación, conservación y promoción del patrimonio cultural, una colaboración que ha propiciado un campo interdisciplinar en constante evolución. [1, 2]. Esta transversalidad ha permitido el desarrollo de herramientas y metodologías avanzadas que combinan técnicas tradicionales con tecnologías emergentes, contribuyendo a la conservación y difusión del patrimonio cultural a nivel global. [3, 4, 5].

Entre estas tecnologías, la documentación en 3D ha demostrado ser una herramienta clave para capturar, analizar y modelar el patrimonio con un nivel de detalle y precisión sin precedentes [6]. Su aplicación no sólo facilita la planificación de intervenciones de restauración y conservación, sino que también permite crear experiencias inmersivas para fomentar el aprecio y la comprensión del patrimonio entre los visitantes [7, 8]. Además, se ha demostrado que su uso contribuye al desarrollo turístico y económico local, en consonancia con las directrices de organizaciones internacionales como la UNESCO para la gestión sostenible del patrimonio [9].

Se destacan los beneficios inherentes de estas técnicas en el contexto de la Ingeniería Gráfica, haciendo hincapié

en su contribución a la mejora de la conservación del patrimonio y la promoción del paisaje local [10, 11, 12, 13]. Existen numerosas técnicas para documentar edificios en 3D, así como numerosos casos para documentar en el mismo escenario [14,15]. Esto puede dar lugar a dudas sobre la precisión de los modelos obtenidos, la complejidad de integrar múltiples modelos para representar yacimientos arqueológicos completos y la interoperabilidad de los datos entre diferentes plataformas y sistemas proporcionan actualmente una imagen compleja [16]. Por lo tanto, este trabajo aporta información valiosa sobre la problemática y las limitaciones relacionadas con los diferentes modelos 3D obtenidos en el contexto arqueológico.

Sin embargo, en el campo de la documentación tridimensional aún existen retos que dificultan la integración de múltiples fuentes de datos y la generación de modelos coherentes en escenarios complejos. Actualmente existen limitaciones en la estandarización de estos procesos, lo que afecta a la interoperabilidad y eficiencia de las técnicas empleadas [1]:

- Limitaciones en la integración de datos heterogéneos: Trabajos como el de Luhmann et al. [17], centrado en la documentación de edificios históricos mediante fotogrametría y escaneo láser, señalan problemas relacionados con la fusión de datos a diferentes escalas y resoluciones. Estos inconvenientes afectan a la coherencia de los modelos y a su utilidad para aplicaciones inmersivas.

- Modelos insuficientemente optimizados para la visualización interactiva: el estudio de Remondino et al. [11] aborda la digitalización 3D de elementos arquitectónicos complejos, pero pone de relieve las dificultades para optimizar modelos detallados sin sacrificar la calidad visual,

lo que limita su uso en entornos de realidad virtual.

El estudio que se presenta en este artículo pretende superar las limitaciones descritas anteriormente. Se trata de un caso de estudio aplicado al castillo de Albánchez de Mágina, situado en Jaén (España), una iniciativa dirigida a generar un modelo tridimensional integrado y optimizado del castillo y su entorno. Este proyecto combina elementos arquitectónicos, topográficos y urbanos, abordando la complejidad geográfica del lugar con el fin de maximizar su conservación y puesta en valor mediante herramientas de realidad virtual 360°, iniciativa que se alinea con las directrices de la UNESCO para la preservación del patrimonio cultural [18].

Además de lo anterior, el caso que nos ocupa aborda el problema de la escala vertical del castillo, que iguala o incluso supera la escala horizontal y plantea retos únicos en términos de planificación y tratamiento de datos. Para hacer frente a estos retos, el presente trabajo emplea técnicas avanzadas de integración de datos tridimensionales procedentes de la fotogrametría, la topografía y las cámaras terrestres. Este enfoque supera las limitaciones señaladas en estudios anteriores, proporcionando un modelo coherente y detallado adecuado para fines turísticos y de inmersión.

En consecuencia, los principales objetivos de este estudio son los siguientes:

- Integrar y optimizar diversas fuentes de datos tridimensionales para crear un modelo unificado del castillo y su entorno.
- Resolver problemas de interoperabilidad y escalabilidad en la integración de datos con distintos niveles de detalle.
- Desarrollar un modelo inmersivo orientado al usuario final utilizando herramientas de realidad virtual para promover tanto el valor cultural como paisajístico del lugar.

Así pues, este estudio no sólo contribuye al avance de la documentación y conservación del patrimonio cultural, sino que también aporta una solución práctica y sostenible para su difusión.

### 1.1 INFORMACIÓN HISTÓRICA Y ARQUEOLÓGICA SOBRE EL CASTILLO DE ALBANCHEZ DE MÁGINA

Los orígenes del castillo son objeto de debate. Aunque algunas fuentes apuntan a una construcción islámica atribuida a

Ibn El Saliya [19,20,21], la mayoría de los estudios sitúan su construcción en el siglo XIV, coincidiendo con la consolidación del dominio cristiano en la zona. Eslava y Ce-rezo [22] fechan el castillo en este siglo, una vez consolidada la presencia cristiana. La Orden de Santiago jugó un papel fundamental en su construcción y mantenimiento, como atestiguan las características arquitectónicas del conjunto, que se ajustan a los patrones constructivos de esta orden militar. Castillo y Salvatierra [23] defienden esta hipótesis, destacando la forma redondeada de sus esquinas, solución arquitectónica repetida por esta Orden.

En los últimos años se han llevado a cabo importantes obras de restauración y rehabilitación en el Castillo de Albánchez de Mágina, que han permitido recuperar gran parte de su esplendor original y abrirlo al público. Durante la rehabilitación se han consolidado estructuras, muros, torres y otros elementos arquitectónicos que corrían riesgo de derrumbe. También se ha realizado la recuperación de materiales, utilizando técnicas tradicionales y materiales autóctonos para restaurar los elementos originales del castillo. Además, también se han desarrollado rutas de visita para que los turistas puedan visitar el castillo de forma segura y conocer su historia, además de instalar paneles informativos y crear recursos didácticos para explicar la importancia del castillo y su contexto histórico.

El Castillo de Albánchez de Mágina está situado en una posición topográfica estratégica, coronando una prominencia rocosa de la ladera oriental de La Serrezuela a 950 metros sobre el nivel del mar. Su ubicación le confiere un dominio visual sobre el núcleo urbano y la llanura circundante. La estructura del castillo se adapta a la morfología del terreno, presentando un desarrollo vertical en el que la alcazaba, núcleo principal de la fortificación, se sitúa en el punto más alto. El recinto amurallado inferior, que constituye el castillo en sentido estricto, se sitúa unos 50 metros más abajo. El alcazarejo, de planta irregular, se organiza en torno a un patio de armas triangular. Tiene un cuerpo principal que alberga dos recintos superpuestos. El superior, de planta rectangular, está cubierto con bóveda de cañón y tiene acceso desde una torre. El recinto inferior, con bóveda ligeramente apuntada, albergaba un aljibe. Tanto el alcazarejo como el recinto amurallado inferior están contruidos en mampostería regular, con un aparejo de buena calidad. Las defensas del castillo se complementan con un parapeto

almenado que rodea el patio de armas, proporcionando cobertura a los defensores. Los merlones, de dimensiones regulares, tienen saeteras que permiten disparar proyectiles a corta distancia [22].

A partir del siglo XVIII, el castillo entró en un proceso de ruina progresiva, perdiendo su función defensiva. Las intervenciones arqueológicas y restauradoras realizadas en las últimas décadas han permitido consolidar la estructura y facilitar su visita, aunque algunas decisiones constructivas, como el uso de cemento en la restauración de la bóveda, han generado cierta polémica en el ámbito de la conservación del patrimonio. Podemos considerarlo un tesoro arqueológico. A pesar de su estado actual, el Castillo de Albánchez de Mágina sigue siendo un lugar de gran interés histórico y arqueológico. Sus muros de piedra, torres y aljibes nos hablan de un pasado glorioso y de las diferentes civilizaciones que dejaron su huella en este lugar. Finalmente, el castillo fue declarado BIC (Bien de Interés Histórico Cultural) en 1985 ([www.albanchezdemagina.es](http://www.albanchezdemagina.es)).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El método adoptado para la obtención del modelo tridimensional del castillo de Albánchez de Mágina y la orografía del perímetro adyacente al mismo, fue la fotogrametría terrestre o fotogrametría de objeto cercano, también conocida como Structure from Motion (SfM) [24]. Existen numerosos estudios que avalan el uso de esta técnica en la reconstrucción de modelos tridimensionales de objetos reales [24, 25, 26]. Los materiales y métodos utilizados en este trabajo pueden dividirse en tres fases. En primer lugar, la planificación y organización del trabajo (Fase 1). En segundo lugar, la recogida de datos sobre el terreno (Fase 2), y en tercer lugar, el trabajo de gabinete (Fase 3). La fase de planificación u organización es esencial en nuestro método. En la fase de campo, para las tomas fotogramétricas, la herramienta utilizada fue la planificación de vuelos de drones, en concreto, un DJI Phantom IV, con un sensor de cámara CMOS de 1/23", con 12,4M de píxeles efectivos y una apertura de f/2,8. Las fotografías tomadas con el dron tendrían que ser georreferenciadas posteriormente, por lo que se utilizó un GPS Trimble Geo7x con correcciones diferenciales y precisión inferior a 5 cm. Por último, para esta fase de campo se necesitaba una cámara para obtener tomas que pudieran ocultarse en las imágenes del dron. La cámara utilizada fue una Olympus E-500 DSLR.

En cuanto al trabajo de oficina, se utilizaron varios programas informáticos para el tratamiento de los datos de campo, para la reconstrucción de la localidad de Albánchez de Mágina y, por último, para la obtención del entorno natural. Así, entre los programas informáticos utilizados se encuentran:

- Software de procesamiento fotogramétrico: Bentley iTwin Capture Master.
- Obtención del entorno natural: QGIS y Blender.
- Reconstrucción de la localidad: Blender.

Para obtener el entorno natural, se utilizaron datos extraídos del Instituto Geográfico Nacional, en concreto, el Modelo Digital del Terreno con un paso de malla de 2 m (MDT02).

Esta metodología permitió obtener, mediante fotografías y herramientas avanzadas de CAD, todos los elementos descritos anteriormente y reconstruir sus características tridimensionales, tanto geométrica como visualmente.

La metodología propone la interacción y optimización de tres modelos que actúan de forma complementaria en un mismo espacio geográfico. En primer lugar, incluyendo la georreferenciación y el escalado del modelo digital del castillo obtenido mediante fotogrametría aérea y fotogrametría SFM. En este caso, y dado que se utilizan tecnologías diferentes, la metodología para obtener un modelo preciso del castillo fue la siguiente: En primer lugar, se procesaron y aerotriangularon los vuelos y fotografías obtenidos con el dron DJI Phantom IV, incluyendo en la aerotriangulación de este bloque los puntos topográficos de apoyo tomados para una georreferenciación precisa del modelo. Los errores cuadráticos medios globales resultaron ser: x: 0,04m, y: 0,07m y z: 0,08m en el posicionamiento global en el sistema de coordenadas EPSG25830. Una vez obtenido este primer bloque, se reconstruyó un modelo 3D y se obtuvieron las coordenadas de ciertos puntos característicos comunes a las fotos tomadas con cámaras terrestres. A continuación, y con estos nuevos puntos con coordenadas globales, se procedió a la creación de Tiles Points de apoyo y a su localización en las fotos obtenidas por la cámara terrestre. Esto nos permite triangular aéreamente este bloque de fotos con una georreferenciación precisa. Finalmente, se juntan los dos bloques aerotriangulados, bloque de fotos de dron y bloque de fotos terrestres, y se inicia un nuevo proceso de reconstrucción que da como resultado un modelo tridi-

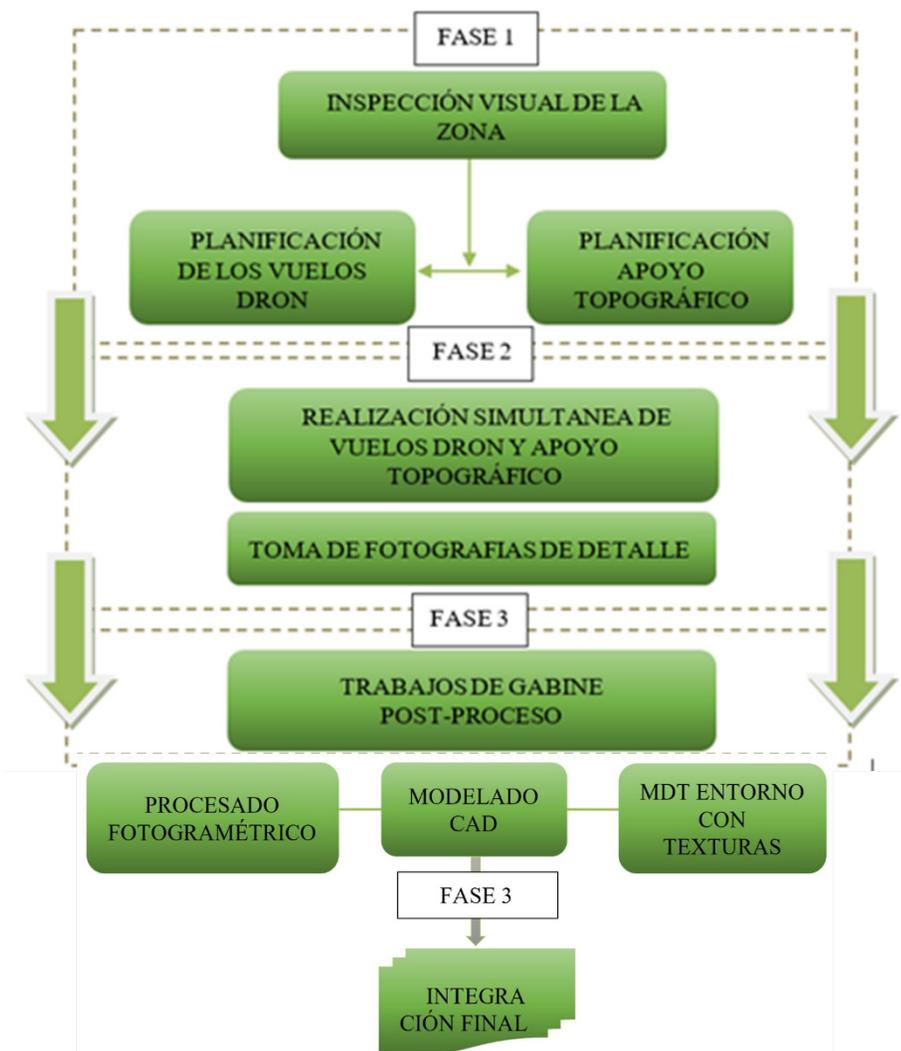


Fig. 1. Esquema visual detallado del trabajo realizado en la metodología propuesta.

mensional del castillo con precisiones medias de resolución por píxel sobre el terreno de 0,48 mm/píxel para las zonas de la cámara terrestre y de 3,78 mm/píxel para las zonas de la imagen de dron.

En segundo lugar, la obtención de un modelo digital del terreno circundante, utilizando datos del Instituto Geográfico Nacional, y por último el modelado 3D del núcleo urbano a partir del parcelario catastral realizado con Blender 4.1 [27, 28].

Este método permite una representación tridimensional completa y detallada del entorno patrimonial objeto de estudio, garantizando la precisión y coherencia de los datos recogidos.

### 2.1. PROBLEMAS DERIVADOS

El modelado de un escenario tridimensional plantea varios problemas para la ejecución de un proyecto de tal envergadura y nivel de detalle. Estos problemas son:

- La orografía del terreno, especialmente la escala vertical que está casi a la par con la escala horizontal, lo que obliga a una planificación de la recogida de datos.

- Las diferentes escalas de trabajo. El objetivo es obtener el castillo propiamente dicho con todo detalle, pero la ciudad de Albánchez y el entorno montañoso que la rodea deben aparecer con distintos niveles de detalle y en mallas de diferentes resoluciones.
- Integración de las capturas exteriores e interiores del castillo.
- Obtención de imágenes panorámicas para establecer la visibilidad del espectador desde el castillo hasta sus alrededores.

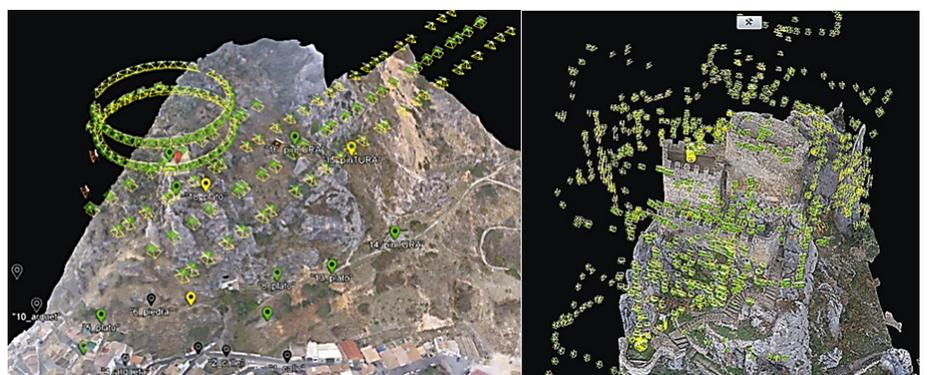


Fig. 2. Distribución de fotografías del vuelo general del castillo y puntos de control terrestre.

Estos retos metodológicos se abordan por separado y se integraron posteriormente en el modelo, ya que todos los datos recopilados y utilizados tenían que estar georreferenciados.

### 2.2. FASES DE LA METODOLOGÍA APLICADA

Como ya se ha mencionado, la metodología aplicada consta de tres fases de desarrollo (Fig. 1). En primer lugar, estaría la Fase 1 de planificación, el trabajo de campo, identificado como Fase 2, y, por último, estaría el trabajo de oficina, conocido como Fase 3.

En la Fase 1, debemos considerar que una correcta organización implica analizar aspectos relacionados con las características del terreno, número de tomas, luz solar, orientación del objeto de estudio, solapamientos, etc. Este itinerario conduce a una práctica correcta en la toma de datos y un correcto postprocesado. En la Fase 2 del trabajo, lo primero que se realizó fue la inspección visual de la zona objeto de estudio.

Tras la planificación de los vuelos con drones, se realizó una primera campaña para obtener el modelo general del castillo y su entorno inmediato. Consistió en varios vuelos circulares con distinto radio y una cuadrícula horizontal para toda la ladera del castillo y su conexión con la localidad de Albánchez de Mágina (Fig. 2).

Se realizó una segunda campaña fotográfica con drones, con un vuelo manual muy cercano sobre el castillo (Fig. 2), asegurando el solapamiento necesario en las tomas y la proximidad que permitiera obtener el detalle requerido.

Ambos vuelos fueron georreferenciados mediante topografía clásica, a través de la distribución de puntos de control terrestre que fueron planificados considerando una cobertura espacial completa del modelo (Fig. 2), tanto horizontal como verticalmente (Tabla 1).

Una vez realizados los vuelos con dron, se recurrió a la fotografía con cámara para tomar imágenes de las partes que

Datos de la cámara	
Distancia focal	3,60 mm
Tamaño del sensor	6,17 mm
Modelo de cámara	DJI FC330
Dimensiones de la imagen	4000x3000 píxeles
Vuelos fotogramétricos	
Cobertura terrestre	0,518 km <sup>2</sup>
Intervalo de disparos	1"
Número de imágenes	1589 fotos
Elevación	Variable
Puntos clave	Mediana de 27900 puntos clave por imagen
Puntos de empate	487918 puntos, mediana de 1645 por foto
Error de reproyección (RMS)	0,66 píxeles
Resolución mediana	0,00422 metro/píxel
Posicionamiento/escalado	Georreferenciación mediante puntos de control
Incertidumbre posicionamiento fotográfico	
RMS(X)	0,00126 metros
RMS(Y)	0,00118 metros
RMS(Z)	0,00102 metros

Tabla 1. Información sobre el número de fotografías de cada vuelo, solapamiento utilizado, altitud del vuelo sobre la cuadrícula y cálculo de los errores X,Y,Z y RMS de las mismas.

tener Modelos Digitales del Terreno (MDT). Dado que el escenario tridimensional requería un mayor detalle en el entorno más próximo al núcleo urbano, se obtuvieron dos MDT con diferentes resoluciones. Para el entorno más cercano y, por tanto, con más detalle, se obtuvo un MDT utilizando el software QGis y con datos del IGN (Instituto Geográfico Nacional, [www.ign.es](http://www.ign.es), donde se pueden descargar datos geográficos gratuitos), en concreto, un Modelo Digital del Terreno con un paso de malla de 2 m (MDT02). En cuanto al entorno más lejano y que requería menor resolución, el MDT se obtuvo directamente de Blender que, con un complemento llamado "GIS", se obtienen modelos 3D de todo el mundo utilizando datos directos de Google Satellite. Las ortofotografías de ambos modelos se aplicaron como textura para dar un aspecto más realista al entorno.



Fig. 3. Nivel de detalle de la malla procesada fotogramétricamente con Bentley iTwin Capture Master.



Fig. 4. Modelado 3D de la zona urbana de Albánchez de Mágina. Entorno correspondiente a la localidad de Albánchez de Mágina obtenido mediante MDTs.

podían quedar ocultas en las tomas del dron, como, por ejemplo, los antepechos interiores de los muros, los marcos de los vanos, etc. La conexión entre estas imágenes y las imágenes georreferenciadas del dron se realizaría posteriormente en el software de tratamiento fotogramétrico Bentley iTwin Capture Master.

Con los datos necesarios obtenidos en campo, se realizaría el trabajo de gabinete donde se llevaría a cabo toda la parametrización, reconstrucción del municipio y la obtención del entorno natural (Fig. 4).

Los primeros trabajos de parametrización del tratamiento fotogramétrico garantizaron la obtención de un modelo detallado del castillo y su entorno inmediato, quedando bien posicionado geoespacialmente con los puntos topográficos de control del terreno.

El siguiente trabajo a realizar fue la reconstrucción del pueblo de Albánchez de Mágina (Fig. 4), que no requería un detalle alto, sino medio, como referencia visual, ya que se pretendía atraer toda la

atención hacia el castillo. Esta fase se realizó utilizando software de modelado 3D, en concreto, Blender 4.1, y se utilizó como plantilla para el modelado de las manzanas de casas del pueblo, tanto la ortofoto más actual como los datos catastrales del parcelario existente.

Por último, para obtener el entorno natural próximo a la localidad de Albánchez de Mágina (Fig. 4), fue necesario ob-

Por último, se integró todo el modelo en un único archivo en el que se recogieron las diferentes escalas de visualización y niveles de detalle. Por un lado, se unificó el castillo de Albánchez de Mágina, siendo la fotogrametría obtenida de mayor resolución. Este modelo generado del castillo se posicionó sobre el MDT obtenido a partir de los datos del IGN, que también se unió a todo el tejido urbano modelado en



Fig. 5. Representación final del castillo de Albánchez de Mágina, el centro urbano y el entorno natural.



Fig. 6. Recurso turístico Visita virtual interactiva 360° para visualización con gafas de realidad virtual. Panorámica interactiva 360° con información adicional y acceso mediante códigos QR

3D. Por último, este terreno se superpuso al obtenido a partir de los datos de Google Satellite. De este modo, fue posible agrupar todos los modelos con distintos niveles de detalle en un único archivo de visualización.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se ha descrito en el apartado anterior, el resultado final del trabajo es un escenario tridimensional que unifica el castillo de Albánchez de Mágina, el tejido urbano de la localidad y el entorno natural de la zona (Fig. 5).

La primera propuesta ha consistido en la implementación de fotos y vídeos interactivos en formato 360°: se han desarrollado recursos visuales inmersivos que permiten a los visitantes explorar el Castillo de Albánchez de Mágina y sus alrededores desde cualquier ubicación y ángulo deseados (Fig.6). Estos recursos ofrecen una experiencia turística única y atractiva, que aumenta el interés y la participación del público.

También se han instalado códigos QR en puntos estratégicos del castillo y sus alrededores (Fig.6). Los visitantes podrán escanear estos códigos con sus dispositivos móviles para acceder instantánea-

mente a información adicional y detalles históricos.

La puesta en valor de un elemento patrimonial implica resaltar su importancia histórica, cultural y social, así como promover su apreciación y comprensión por parte de todos los agentes implicados. Según García-Molina [29], este proceso busca "poner el patrimonio en el punto de mira", resaltando sus valores y significados para que sean apreciados y preservados en el tiempo. Además, como mencionan Xiao et al. [30], la puesta en valor no sólo se refiere a la conservación física del patrimonio, sino también a su difusión y uso de forma sostenible en beneficio de la sociedad. Por ello, una vez obtenido nuestro modelo 3D unificado, optimizado y georreferenciado realizamos una propuesta turística y educativa.

Por último, hemos querido proponer una mejora en un contexto más educativo. Este contexto abarca el paisaje y el lugar estratégico: Se han creado materiales educativos interactivos que permiten a los estudiantes explorar el paisaje circundante del castillo y comprender su importancia estratégica en el contexto histórico. Estos materiales incluyen mapas interactivos, modelos digitales del terreno y narraciones que guían a los estudiantes

a través de la geografía y la topografía de la zona.

### 4. CONCLUSIONES

Esta investigación ha demostrado la aplicación eficaz de un enfoque multidisciplinar a la documentación digital, conservación y difusión del Castillo de Albánchez de Mágina y su entorno. Mediante la integración de fuentes heterogéneas de datos tridimensionales, como la fotogrametría, las cámaras terrestres y los levantamientos topográficos, el estudio abordó los principales retos asociados a la complejidad geográfica y arquitectónica del lugar, especialmente cuando se afronta una obra con una escala vertical significativa. Adaptaciones innovadoras en la adquisición de datos, incluidos patrones avanzados de vuelo de vehículos aéreos no tripulados y la integración de conjuntos de datos con diferentes niveles de detalle, garantizaron la creación de un modelo 3D unificado y preciso.

El modelo resultante trasciende la documentación tradicional y sirve como herramienta de consulta profesional para arqueólogos, ingenieros y arquitectos, al tiempo que ofrece una experiencia inmersiva para un público más amplio. La incorporación de herramientas de realidad virtual mejora la accesibilidad y utilidad del modelo, promoviendo la importancia cultural y natural del yacimiento y apoyando iniciativas de turismo sostenible.

Este artículo avanza en el estado del arte de la documentación del patrimonio abordando las limitaciones de los flujos de trabajo tradicionales de estructura a partir del movimiento (SfM) y demostrando el valor de integrar tecnologías avanzadas con la colaboración interdisciplinar. También se subraya la importancia de combinar la innovación tecnológica con la participación activa de la comunidad para garantizar la conservación, promoción y transmisión del patrimonio cultural.

La puesta en valor del Castillo de Albánchez de Mágina ejemplifica un proceso continuo y dinámico de valorización del patrimonio que preserva la identidad histórica del lugar al tiempo que promueve su apreciación y disfrute por parte de las generaciones futuras.

### REFERENCIAS

- [1] Storeide, MB, George, S., Sole, A. et al. Normalización del patrimonio digitalizado: una revisión de las implementaciones de 3D en el patrimonio cultural. *Herit Sci* 11, 249 (2023). <https://doi.org/10.1186/s40494-023-01079-z>

- [2] Williams, E. M. (2017). Conservación interdisciplinar: ¿es este el camino a seguir? *Revista del Instituto de Conservación*, 40(3), 201-211.
- [3] Jang, H., & Mennis, J. (2021). El papel de las comunidades locales y el bienestar en la conservación de los sitios del patrimonio mundial de la Unesco: Un análisis de las directrices operativas, 1994-2019. *Sustainability*, 13(13), 7144.
- [4] López-Menchero Bendicho, V. M., & Grande, A.: Hacia una carta internacional de arqueología virtual. *El borrador SEAV. Revista de arqueología virtual* 2(4), 71-75 (2011).
- [5] Staropoli, L., Lanza, A., Avido, D. N., & Herrera, V.: La construcción del patrimonio virtual en la investigación, conservación y difusión del pasado. En *XX Congreso Nacional de Arqueología Argentina. Universidad Nacional de Córdoba; IDACOR-CONICET* (2019).
- [6] Hassani, F. (2015). Documentación del patrimonio cultural; técnicas, potencialidades y limitaciones. *Archivos Internacionales de Fotogrametría, Teledetección y Ciencias de la Información Espacial*, 40, 207-214.
- [7] Srinivasan, S., SHerkar, A., Jayamani, J., Indora, A., & Mukherjee, R. (2024). Tourism Innovation And The Role Of Technology In Enhancing Visitor Experiences (La innovación turística y el papel de la tecnología en la mejora de las experiencias de los visitantes). *Educational Administration: Theory and Practice*, 30(4), 1506-1513.
- [8] Moulou, D., Vital, R., Sylaiou, S., & Ragia, L. (2023). Digital Tools for Data Acquisition and Heritage Management in Archaeology and Their Impact on Archaeological Practices. *Heritage*, 7(1), 107-121.
- [9] Colglazier, W. (2015). Agenda de desarrollo sostenible: 2030. *Science*, 349(6252), 1048-1050.
- [10] Gordon, J. E.: Geopatrimonio, geoturismo y paisaje cultural: Mejorando la experiencia del visitante y promoviendo la geoconservación. *Geociencias* 8(4), 136 (2018).
- [11] Remondino, F., & Rizzi, A.: Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites-techniques, problems, and examples. *Applied Geomatics* 2, 85-100 (2010). <https://doi.org/10.1007/s12518-010-0025-x>
- [12] Boboc, R.G., Bautu, E., Gîrbacia, F., Popovici, N. Y Popovici, D.M. (2022). Augmented reality in cultural Heritage: an overview of the last decade of applications. *Ciencias Aplicadas*, 12 (19), 9859.
- [13] Fernández-Lozano, J., Andrés-Bercianos, R. Y Fernández-Suárez, M.E. (2024). Visitas virtuales al patrimonio arqueológico de Zamora: El conjunto de Pintura Rupestre Esquemática de Santa Eufemia del Barco (Zamora). En *Actas del III Congreso Histórico de Zamora. Diputación Provincial de Zamora, Instituto de Estudios Zamoranos "Florián de Ocampo"*, 1-13.
- [14] Rodríguez-González, P., Guerra Ocampo, A., Muñoz-Nieto, A.L., Sánchez-Aparicio, L.J. y González-Aguilera, D. (2019). Reconstrucción diacrónica y visualización de yacimientos perdidos del Patrimonio cultural. *Revista internacional de geoinformación ISPRS* 8, 61. 1-25.
- [15] Fernández-Lozano, J., Gutiérrez-Alonso, G., Salman-Monte, K., Sánchez-Fabian, J.A. y García, F.G. (2016). Uso de drones para la documentación 3D del patrimonio arquitectónico integrado en el proyecto Geoparque Las Loras (Burgos Palencia): el Castillo Medieval de Urbel. *Revista Internacional Mapping*, 178, 52-59.
- [16] Ramos, M.M. y Remondino, F. (2015). Data fusion in cultural Heritage -a review. *Archivos Internacionales de Fotogrametría, Teledetección y Ciencias de la Información Espacial*, 40, 359-363.
- [17] Luhmann, T., Chizhova, M., & Gorkovchuk, D. (2020). Fusion of UAV and terrestrial photogrammetry with laser scanning for 3D reconstruction of historic churches in Georgia. *Drones*, 4(3), 53.
- [18] Parlak, G., Bleil de Souza, C., & Cerutti, F.: Scrutinizing community-held knowledge transfer into world heritage site management plans: a multidisciplinary method. *Revista de gestión del patrimonio cultural y desarrollo sostenible* (2022).
- [19] López Pegalajar, M. Aproximación al Patrimonio Monumental de Sierra Mágina: Castillos, Iglesias y Palacios. *CISMA*, 1994. pp. 35-45.
- [20] Olivares Barragán, Francisco. *El Castillo de Albánchez de Úbeda. Asociación Amigos de San Antón*, 1987. pp. 45-46.
- [21] Olivares Barragán, Francisco. *Castillo de la provincia de Jaén. EXCMA. Diputación Provincial. Instituto de Estudios Giennenses*, 1992. 370 p.
- [22] Eslava Galán, Juan; Cerezo Moreno, Francisco. *Castillos y atalayas del Reino de Jaén. Riquelme y Vargas*, 1989. p. 387.
- [23] Castillo Armenteros, Juan Carlos; Salvatierra Cuenca, Vicente. *Castillo de Albánchez*. 1997. p. 159.
- [24] Micheletti, N., Chandler, J. H., & Lane, S. N.: Investigating the geomorphological potential of freely available and accessible structure-from-motion photogrammetry using a smartphone. *Earth Surface Processes and Landforms* 40(4), 473-486 (2015).
- [25] Fabris, M., Fontana Granotto, P., & Monego, M.: Expeditiva fotogrametría SfM de bajo coste y un levantamiento TLS para el análisis estructural del castillo de Illasi (Italia). *Drones* 7(2), 101 (2023).
- [26] Słowińska, N., Żyła, A., & Borowiec, N.: Verification of the Wolek Castle Model with the Actual State Using Digital Photogrammetry and Conventional Survey Methods. *Geomática e ingeniería medioambiental* 17(1), (2023).
- [27] Jo, Y. H., & Hong, S.: Documentación digital tridimensional del sitio del patrimonio cultural basada en la convergencia del escaneo láser terrestre y la fotogrametría de vehículos aéreos no tripulados. *Revista internacional de geoinformación de la ISPRS* 8(2), 53 (2019).
- [28] Almeida, A., Gonçalves, L., Falcão, A. e Ildefonso, S.: Modelo de ciudad patrimonial 3D-GIS: estudio de caso de la ciudad histórica de Leiria. En: *Actas de la 19ª Conferencia Internacional AGILE sobre Ciencias de la Información Geográfica*, pp. 14-17. Helsinki, Finlandia (2016).
- [29] García-Molina D.F.: Estudio comparativo de distintas técnicas para la documentación y puesta en valor del Patrimonio Ingeniero-Arquitectónico. *Universidad de Córdoba, Córdoba* (2017).
- [30] Xiao, W., Mills, J., Guidi, G., Rodríguez-González, P., Barsanti, S.G. & González-Aguilera, D.: Geoinformática para la conservación y promoción del patrimonio cultural en apoyo de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU. *Revista ISPRS de fotogrametría y teledetección* 142, 389-406 (2018).