

# Edificios históricos en la era digital: oportunidades de las réplicas digitales

## Información del reporte:

Licencia Creative Commons



El contenido de los textos es responsabilidad de los autores y no refleja forzosamente el punto de vista de los dictaminadores, o de los miembros del Comité Editorial, o la postura del editor y la editorial de la publicación.

Para citar este reporte técnico:

Hernández Ortíz, I. N. (2024). Edificios históricos en la era digital: oportunidades de las réplicas digitales. *Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC*, 2 (4) páginas (9 - 15).

<https://doi.org/10.22201/dgtic.ctud.2024.2.4.78>

**Irais Nohemi Hernández Ortíz**

Instituto de Investigaciones Estéticas  
Universidad Nacional Autónoma de México

[iraisn@comunidad.unam.mx](mailto:iraisn@comunidad.unam.mx)

ORCID: 0009-0007-5069-1080

## Resumen

El proyecto se centró en la aplicación de técnicas fotogramétricas y análisis de Modelos Digitales de Elevación para documentar y analizar fachadas de inmuebles históricos. Se empleó un enfoque metodológico orientado a maximizar la precisión y eficiencia en la representación de las características físicas de las estructuras. La fotogrametría permitió generar mapas de profundidad, que fueron transformados dentro de un entorno de Sistemas de Información Geográfica. Estos modelos se procesaron para resaltar las variaciones de altura mediante visualizaciones en pseudocolor y análisis de relieve, lo que facilitó la identificación de detalles que son difíciles de captar con la fotografía tradicional. Los resultados demostraron que esta técnica mejora la visibilidad de los elementos arquitectónicos, por lo que ofrece un recurso para la conservación patrimonial. El proceso propuesto también es una opción para el seguimiento continuo de los edificios a lo largo del tiempo, al permitir la creación de un registro cronológico para la detección temprana de grietas, deformaciones y deterioro de los acabados.

## Palabras clave:

Patrimonio, réplicas digitales, MDE, conservación digital, fotogrametría.

## 1. INTRODUCCIÓN

La arquitectura prehispánica de México es un testimonio físico de la historia del país y un punto de referencia en la identidad colectiva regional y nacional, sin embargo, factores como la urbanización, el deterioro natural, el saqueo o la destrucción deliberada representan amenazas significativas para su preservación. Según el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), en México se han registrado 49,347 sitios arqueológicos con antigüedad, dimensiones y trascendencia variable, lo que evidencia la riqueza y la diversidad del patrimonio arquitectónico del territorio (Mediateca INAH, s.f.). En este contexto, el uso de copias digitales de objetos materiales con valor patrimonial ofrece una alternativa efectiva para recrear el legado cultural.

En el campo del modelado de estructuras patrimoniales empleando medios digitales, se pueden observar dos líneas principales de actuación. La primera se centra en la creación de modelos 3D con un enfoque recreativo o de divulgación; en su elaboración, se emplean dimensiones aproximadas y su propósito primordial radica en la apreciación visual y la visibilización del patrimonio en plataformas públicas. La segunda está orientada a la documentación precisa y exhaustiva, con el objetivo de preservar la información en su forma más fiel, exacta y detallada posible.

El Proyecto Medición de la Arquitectura, Mecate, adscrito al Instituto de Investigaciones Estéticas, se enfoca en el desarrollo de métodos para obtener información digital rigurosa sobre construcciones antiguas. Dentro de las actividades de Mecate, el uso de Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) es esencial para la documentación y análisis detallado de las estructuras. Integrar herramientas digitales que permiten capturar, procesar y analizar grandes volúmenes de datos geoespaciales, transformando imágenes y coordenadas en modelos virtuales, vuelve evidente el vínculo entre las TIC y las humanidades.

El presente reporte tiene como objetivo detallar el proceso de tratamiento y transformación de réplicas digitales de edificios patrimoniales, con el fin de generar material gráfico enriquecido con capas de información, destinado a apoyar los estudios especializados en este campo.

## 2. DESARROLLO TÉCNICO

La réplica digital es una copia virtual y precisa de un objeto físico, que se logra mediante la suma de técnicas de digitalización y coordenadas espaciales obtenidas con instrumentos topográficos. Esta captura, con alta fidelidad, la forma, textura y detalles del modelo original. Se considera precisa cuando su rango de error es menor a 2.5 milímetros por metro.

El proyecto Mecate realizó el registro arquitectónico de la zona arqueológica de Xochicalco en tres visitas al sitio en el periodo de 2014 a 2018. En 2022, se trabajó en material gráfico que describiera de forma detallada y precisa las escenas plasmadas en los relieves de los muros exteriores de la pirámide de las Serpientes Emplumadas. Incorporar al procesamiento las imágenes del interior y las tomas aéreas del edificio no eran necesario, pero se decidió usarlas para completar la estructura y evitar que la información quedara sin contexto. Las coordenadas espaciales que aportaron precisión al modelo se obtuvieron mediante el instrumento de medición topográfica denominado estación total.

## 2.1 METODOLOGÍA

Con el fin de obtener la información morfológica y dimensional de la estructura arquitectónica, se empleó fotogrametría en un entorno digital. La fotogrametría es un conjunto de métodos y procedimientos que, a partir de fotografías solapadas, deducen las formas y dimensiones de los objetos. Se fundamenta en el hecho de que la imagen fotográfica es una perspectiva generada en un sistema de proyección central y que las lentes fotográficas generan distorsiones ópticas que obedecen leyes matemáticas. Los programas fotogramétricos operan bajo algoritmos desarrollados sobre estos principios geométricos y matemáticos. Pueden ser, según el tipo de toma, terrestres, aéreas o una combinación de ambas. Almagro (2019) y Leija-Román, et al. (2022) destacan cómo la fotogrametría ha sido ampliamente aplicada en el campo de la preservación digital. En este proyecto, se utilizó *Metashape Professional Edition* de Agisoft por ser multiplataforma y ofrecer una licencia académica a un costo accesible.

El proceso de creación de la réplica digital comenzó con incorporar las imágenes del edificio al programa fotogramétrico. Debido a que las fotografías fueron tomadas bajo distintas condiciones de iluminación, fue necesario aplicar una corrección de color antes de su incorporación. Posteriormente, se efectuó el análisis de las imágenes con un valor de precisión alta para identificar rasgos comunes en ellas, a estas conexiones se les denomina puntos de paso. Después de reconocer los vínculos entre fotografías, se calculó la distancia y la posición de cada punto en el entorno tridimensional, esta información recibe el nombre de mapas de profundidad y fue realizado en calidad alta. A partir de los mapas, se generaron 186 millones de representaciones visuales en forma de puntos, todos ellos con una ubicación espacial y color específico. El conglomerado de puntos describe la morfología del objeto en el ambiente virtual, como se puede apreciar en la figura 1, y es nombrado nube de puntos densa o simplemente nube de puntos. El rango de error fue de 1 milímetro por metro.

### Figura 1

*Nube de puntos de La Pirámide de las Serpientes Emplumadas en diferentes acercamientos*



Este reporte se enfoca en el tratamiento y transformación del objeto digital tridimensional, por lo que no se abordarán en detalle los aspectos técnicos del proceso fotogramétrico, ya ampliamente documentados.

Para más información, puede consultarse el trabajo de Quintilla Castán y Agustín Hernández (2022), quienes lo describen exhaustivamente.

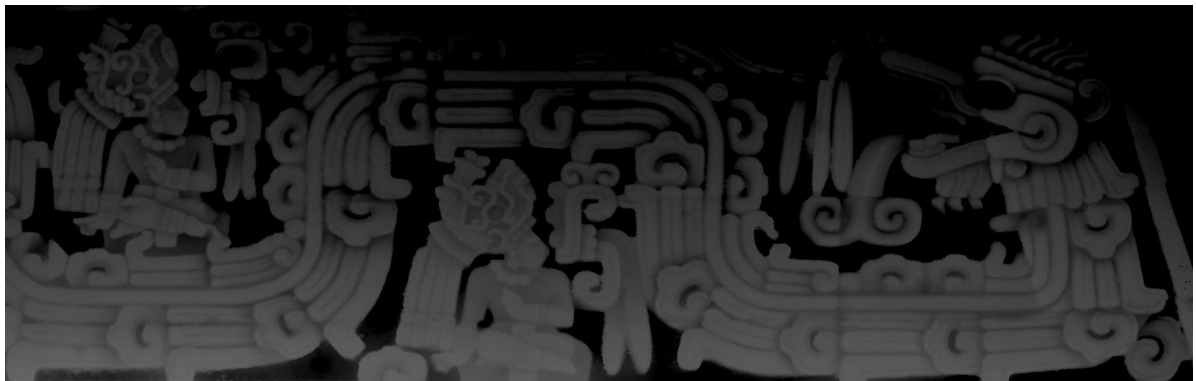
El siguiente paso de la metodología también se realizó con el programa *Metashape* y consistió en la creación de los Modelos Digitales de Elevación (MDE) a partir de las nubes de puntos previamente procesadas. Los MDE son un medio bidimensional que representa las alturas o profundidades de una superficie, incluyendo la presencia de cualquier objeto o detalle sobre ella. La utilidad de estas representaciones en los entornos de preservación patrimonial es descrita en el trabajo de Lodeiro Pérez, et al. (2022), quienes muestran la aplicación de este recurso en tres proyectos de conservación, haciendo evidente su aportación en el registro arquitectónico.

Antes de proceder con la generación del MDE, se realizó un filtrado de información para eliminar ruido y puntos irrelevantes. Este paso permitió definir con mayor precisión las características físicas de la fachada, evitando distorsiones causadas por datos inexactos. A continuación, se alineó la proyección a la superficie de interés, al tratarse de una alineación planar, se usaron marcadores para establecer el eje horizontal y vertical, asegurando una correcta correspondencia espacial. En proyectos donde se requiere un análisis geoespacial, es esencial asegurar que el MDE esté correctamente alineado con el sistema de coordenadas utilizado. Esto garantiza que los datos puedan integrarse adecuadamente con otras capas de información espacial, si es necesario.

Se efectuaron pruebas activando y desactivando la interpolación durante el proceso para evitar que la herramienta mostrará áreas con profundidades no representativas, lo cual podría introducir errores en el análisis. En este proyecto, se utilizó la resolución máxima propuesta por el software para obtener una mayor cantidad de detalles y precisión, por tratarse de superficies complejas. Sin embargo, en casos donde el modelo presenta un alto nivel de ruido, puede ser preferible ajustar la resolución para disminuir distorsiones y lograr un balance entre detalle y claridad. Una vez generado el MDE, se evaluó y comparó con datos de referencia para verificar que reflejara fielmente la morfología de la superficie analizada. Finalmente, el MDE se exportó en formato *Tiff/Geotiff* con una representación de escala de 25 milímetros en cada píxel. En la figura 2, se muestra el contenido del archivo procesado.

## Figura 2

*Información del archivo Tiff/Geotiff del Modelo Digital de Elevaciones*



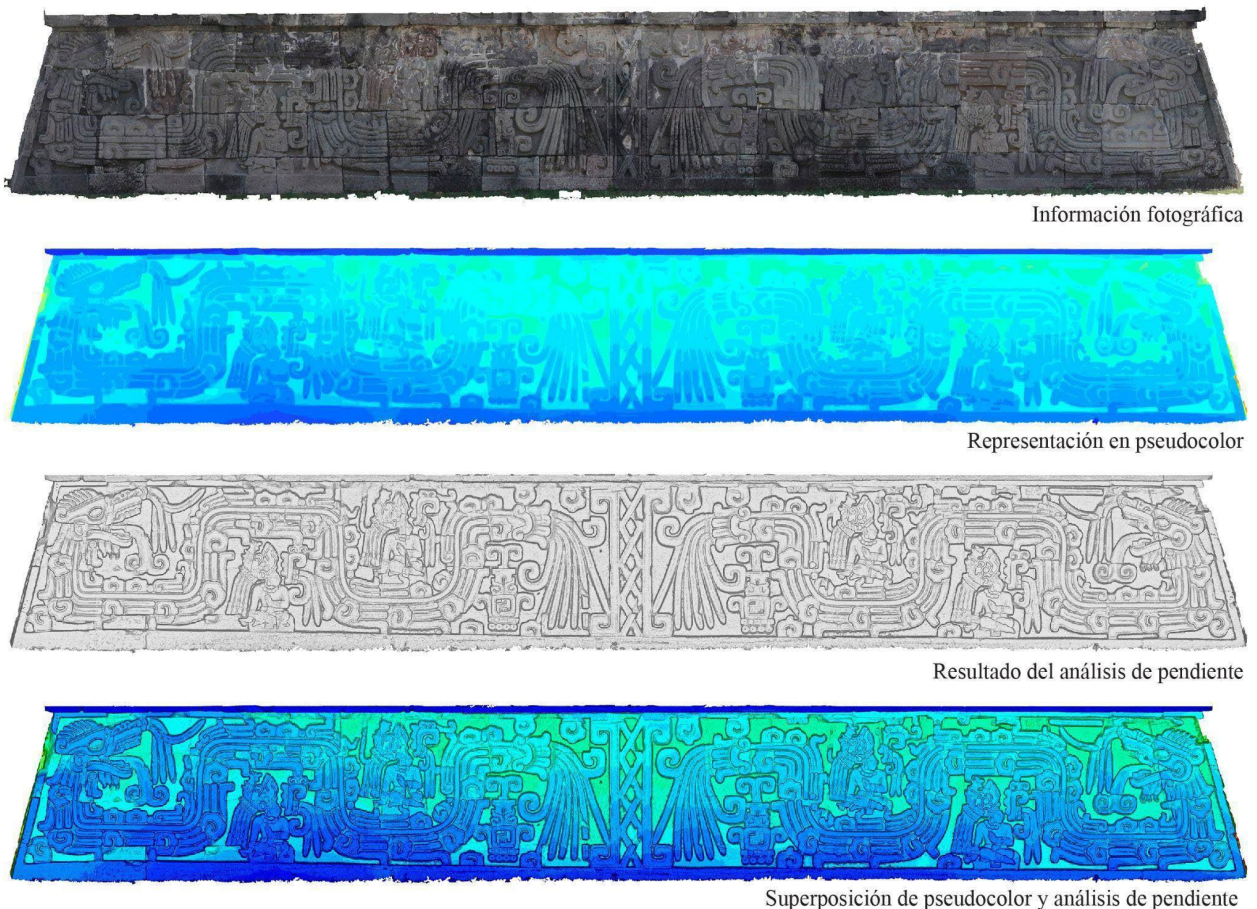
*Nota:* Se muestra la esquina norponiente del primer nivel de la fachada norte.

En la siguiente etapa, se adaptó una técnica comúnmente empleada en estudios de geomorfología de terrenos inclinados para identificar variaciones en el relieve de las fachadas. Se utilizó el programa QGIS, una herramienta gratuita y de código abierto para la gestión y análisis de datos espaciales.

Los MDE fueron procesados para transformar la escala de grises en una representación en pseudocolor, usando el entorno de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Este proceso consistió en asignar a los valores numéricos del gris colores específicos dentro de un espectro, con lo que se obtuvo una mejor visualización de las variaciones sutiles en el relieve. Después, se configuraron tanto la resolución como las unidades y se procedió a la aplicación del algoritmo de análisis de pendiente para calcular la inclinación de cada elemento. El resultado fue un nuevo archivo, en donde la altura está representada por la superposición de líneas muy delgadas. A continuación, se realizó el ajuste de la imagen gráfica, integrando los datos de pseudocolor con la intención de evidenciar las áreas de mayor y menor profundidad. En la figura 3, se aprecian los atributos de las capas de información.

### Figura 3

#### Capas de información



*Nota:* Las imágenes corresponden al primer nivel de la fachada norte.

Finalmente, se exportó el archivo con una representación de 25 milímetros en cada píxel en formato *Tiff*. Todos los productos fueron preparados para su inclusión en el acervo del proyecto Mecate, facilitando su consulta y estudio por parte de investigadores y otros interesados en el área de conservación patrimonial.

### 3. RESULTADOS

A través del proceso descrito, se representaron las cuatro fachadas de la Pirámide de las Serpientes Emplumadas. Esta técnica permitió resaltar eficazmente las escenas de los bajorrelieves, enfocándose en los personajes y su profundidad. Al comparar los gráficos generados con las imágenes fotográficas, se observó una mejor visibilidad de los labrados, además de la incorporación de referencias de altura, como se observa en la figura 4. Esto se debe a la capacidad del MDE para diferenciar planos con mayor precisión que la fotografía tradicional, donde la uniformidad de color dificulta la percepción de detalles finos. Los resultados demuestran la utilidad de automatizar el reconocimiento de fachadas para crear modelos 3D fieles al aspecto original de los edificios, crucial en el análisis de estructuras históricas. Tsilimantou, et al. (2020) subrayan la importancia de las herramientas digitales en el estudio de elementos verticales de inmuebles patrimoniales, destacando su eficacia frente a métodos fotográficos convencionales.

#### Figura 4

*Comparativo de la información gráfica*



*Nota:* Se presenta del lado izquierdo una sección de la fachada con el resultado del análisis de pendiente superpuesto a la representación en pseudocolor. A su lado, información fotográfica de la misma zona.

En consecuencia, la aplicación de estas herramientas contribuyó a una documentación más completa, al aportar un recurso visual adicional para futuras investigaciones y restauraciones. Además, proporciona una base sólida para estudios comparativos y para la preservación patrimonial a largo plazo.

## 4. CONCLUSIONES

La metodología implementada en este trabajo, que combina fotogrametría, análisis de Modelos Digitales de Elevación y Sistemas de Información Geográfica, demostró ser una herramienta viable y altamente efectiva para detectar variaciones en la profundidad de los acabados arquitectónicos y evaluar su nivel de desgaste. Su capacidad para automatizar procesos, mejorar la precisión y añadir capas de información a la documentación de edificios históricos la convierte en una opción atractiva para otras iniciativas de conservación o estudio, dado que revela aspectos que la fotografía tradicional no logra capturar con igual claridad.

Sin embargo, existen retos, como el manejo de grandes volúmenes de datos, la necesidad de equipos especializados para la toma de medidas, el precio de los programas fotogramétricos y el empleo de una técnica adecuada para realizar las tomas fotográficas. A pesar de estos desafíos, la metodología tiene un gran potencial, ya que podría emplearse en el monitoreo periódico de edificios históricos, lo que facilitaría la detección temprana de daños y deformaciones. Además, la capacidad de transformar los MDE en diferentes representaciones visuales mejora la comprensión y el análisis de los detalles arquitectónicos. Finalmente, el uso de formatos accesibles para la preservación digital maximiza la funcionalidad y el acceso a los archivos, asegurando su utilidad en investigaciones futuras y proyectos de conservación a largo plazo, lo que destaca el valor de las réplicas digitales más allá de la apreciación visual.

## REFERENCIAS

- Almagro Gorbea, A. (2019). Medio siglo documentando el patrimonio arquitectónico con fotogrametría. *EGE Revista de Expresión Gráfica en la Edificación*, (11), 4-30. <https://doi.org/10.4995/ege.2019.12863>
- Leija-Román, D. A., et. al. (2022). Fotogrametría como recurso de virtualización en la difusión y preservación digital de patrimonio tangible. *Revista General de Información y Documentación*, 32(2). <https://doi.org/10.5209/rigid.81373>
- Lodeiro Pérez, J. M., et. al. (2022). Aplicaciones de los Modelos Digitales de Elevación a la conservación del patrimonio. En *La Ciencia y el Arte VIII. Ciencias experimentales y conservación del patrimonio*. (pp. 183-198). Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Teresa-Fernandez-2/publication/365959571\\_Aplicaciones\\_de\\_los\\_Modelos\\_Digitales\\_de\\_Elevacion\\_a\\_la\\_conservacion\\_del\\_patrimonio\\_Some\\_applicatios\\_of\\_Digital\\_Elevation\\_Models\\_to\\_Heritage\\_Conservation/links/638a05b9ca2e4b239c814007/Aplicaciones-de-los-Modelos-Digitales-de-Elevacion-a-la-conservacion-del-patrimonio-Some-applicatios-of-Digital-Elevation-Models-to-Heritage-Conservation.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Teresa-Fernandez-2/publication/365959571_Aplicaciones_de_los_Modelos_Digitales_de_Elevacion_a_la_conservacion_del_patrimonio_Some_applicatios_of_Digital_Elevation_Models_to_Heritage_Conservation/links/638a05b9ca2e4b239c814007/Aplicaciones-de-los-Modelos-Digitales-de-Elevacion-a-la-conservacion-del-patrimonio-Some-applicatios-of-Digital-Elevation-Models-to-Heritage-Conservation.pdf)
- Mediateca INAH (s. f.). *Zonas arqueológicas*. Instituto Nacional de Antropología e Historia. Recuperado agosto 29, 2024, de [http://mediateca.inah.gob.mx/islandora\\_74/islandora/object/inah%3AAsi-tioprehispanico](http://mediateca.inah.gob.mx/islandora_74/islandora/object/inah%3AAsi-tioprehispanico)
- Quintilla Castán, M. & Agustín Hernández, L. (2022). Metodología de captura y procesamiento para el desarrollo de una base de datos gráfica 3D del patrimonio arquitectónico. *Ge-conservación*, 21(1), 72-84. <https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1048>
- Tsilimantou, E., et. al. (2020). GIS and BIM as integrated digital environments for modeling and monitoring of historic buildings. *Applied Sciences*, 10(3), 1078. <https://doi.org/10.3390/app10031078>