

## **Técnicas de digitalización para el levantamiento gráfico y de diagnóstico mediante pruebas no destructivas para el estudio de lesiones en el patrimonio construido.**

**Álvaro Sánchez Corrochano<sup>a</sup>, Enrique Martínez Sierra<sup>b</sup>, Alessandro Greco<sup>c</sup>**

<sup>a</sup> Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, [alvarosanchezco@gmail.com](mailto:alvarosanchezco@gmail.com), <sup>b</sup> Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, [enriquemartinezsierra@gmail.com](mailto:enriquemartinezsierra@gmail.com), <sup>c</sup> Università di Pavia, Pavia, Italia, [agreco@unipv.it](mailto:agreco@unipv.it)

### **Abstract**

Historic buildings and heritage elements located in urban or rural environments are studied for the detection of the degradation of their materials and the characterization of their geometry.

Due to the complex structures and constructions that are part of the Cultural Heritage, currently, without the help of advanced instruments and techniques in the collection of digital data, the representation of this falls into an idealized simplification, often ignoring geometry, hidden spaces and specific details.

There are numerous tests that facilitate the examination and analysis of Building of Cultural Interest and systems without damaging them or affecting their integrity. They are called non-destructive tests, such as short-range photogrammetry, terrestrial 3D scanner and / or structured light, among others.

The technique used should be chosen according to the object or building to be studied, that is, the morphological characteristics, workspace, the expected level of detail, the execution time and the metric quality of the final result, among others, are fundamental parameters that determine the most appropriate working technique.

Therefore, this article analyzes and compares several of the digitization techniques, and the data obtained in each of them, on the Heritage applied to Building of Cultural Interest such as "La Puerta de la Colada" of the walls of Ciudad Rodrigo (Salamanca, Spain), the Castle of Sagunto (Valencia, Valencia, Spain) and "Salón de Reinos" of Prado Museum (Madrid, Spain). All the examples presented have been the subject of an exhaustive analysis and subsequent intervention for its consolidation and restoration, so the techniques used have been chosen depending on the subsequent intervention to be carried out.

**Keywords:** documentación digital, fotogrametría, laser escáner, Patrimonio Construido.

### **1. Introducción**

La conservación y, por tanto, la documentación del Patrimonio Cultural debe comenzar por generar una base de datos basada en un conocimiento profundo tanto del monumento como de su entorno. Este último proporciona una lectura completa del monumento, referenciándolo al conjunto de circunstancias físicas, temporales y simbólicas y evitando así su descontextualización

La metodología en la toma de datos ha avanzado y evolucionado enormemente en los últimos años y, especialmente, en el campo del Patrimonio Construido. pero encontramos que desde la época romana hasta el siglo XVIII las técnicas son bastante rudimentarias y se basan en principios básicos. Los niveles y verticales, la medición de distancias y ángulos y la ubicación del norte geográfico son los pilares sobre los que se

basaban las técnicas de ese período. Ya en el siglo XIX, con la aparición de nuevas técnicas, y debido a la gran difusión por los tratados, se establecen los principios de la topografía moderna.

En muchas ocasiones, la información que manejan los agentes implicados en el Patrimonio Cultural sigue siendo bidimensional y, en ocasiones, arbitraria e inexacta. La metodología de recolección de datos evoluciona rápida y constantemente, junto con una reducción en los costes.

Hoy en día existen técnicas e instrumentos de digitalización a disposición del usuario que facilitan y mejoran el proceso de toma de datos. La fotogrametría, mediante la captura de imágenes, y el escaneo láser terrestre, para la toma de datos de alta definición, han marcado un antes y un después en los trabajos de digitalización de los elementos construidos, permitiendo agilizar la recogida de datos y maximizando la información proporcionada.

No existe una forma definida de determinar qué técnica de levantamiento es la más adecuada en cualquier situación; en consecuencia, la técnica utilizada debe elegirse en función del objeto o propiedad a estudiar, es decir, las necesidades de investigación, análisis, conservación, características morfológicas, espacio de trabajo, nivel de detalle esperado, tiempo de ejecución y calidad métrica del resultado final, entre otros, son parámetros fundamentales que determinarán la técnica de trabajo más adecuada (Güleç Korumaz 2021).

Por lo tanto, estas técnicas, en combinación con la documentación tradicional, ofrecen una solución útil para documentar todas las características geométricas y espaciales a través del desarrollo de una base de datos fidedigna.

Como se explicará más adelante, las diferentes técnicas utilizadas proporcionan un resultado final que se pueden utilizar tanto individualmente como en varias combinaciones para la documentación y evaluación de daños. (Lambers et al. 2007; Arav et al., 2016; Sapirstein, 2016; Xu et al., 2017; Balsa-Barreiro y Fritsch, 2018; Dayal et al., 2019)

En este artículo se pretende mostrar los resultados obtenidos durante el proceso de estudio y digitalización de varios bienes inmuebles declarados Bien de Interés Cultural. Todos los

ejemplos presentados han sido objeto de un trabajo de análisis exhaustivo y posterior intervención para su consolidación y restauración. Es por ello que las técnicas utilizadas han sido escogidas dependiendo de la intervención posterior a realizar.

## **2. "Puerta de la Colada". Conocimiento del inmueble y proceso de digitalización**

### **2.1. Introducción**

El inmueble objeto de estudio se conoce con el nombre de "Puerta de la Colada" y pertenece al sistema defensivo de la ciudad de Ciudad Rodrigo (Salamanca).



Fig. 1- Fachada exterior de la Puerta de la Colada. 2021

### **2.2. Trabajo de campo. Fotogrametría de corto alcance y escaneo láser terrestre**

Debido a la falta de planimetría previa, se decide combinar varias técnicas de digitalización para poder reproducir, de forma precisa, diversos aspectos del monumento (volumetría, materiales, sistemas constructivos...). La ubicación de esta, enclavada en un entorno urbano consolidado, y las limitaciones de tiempo durante el trabajo de campo, requerían métodos de mapeo altamente flexibles y eficientes.

En este caso se decide realizar fotogrametría a varios lienzos de pared y TLS al conjunto completo para poder analizar, posteriormente en el gabinete, la relación constructiva de todas las piezas que componen el monumento y los procesos de lesiones que sufre.

#### **2.2.1. Fotogrametría de corto alcance**

El primer método utilizado fue la fotogrametría de corto alcance.

La fotografía con cámara de mano se utilizó para lienzos verticales, tanto en interiores como en exteriores. Gracias a su geometría y características morfológicas, la toma de datos se realizó de manera sencilla, proporcionando un resultado favorable para el proceso de digitalización.

La cámara utilizada para este primer proceso fue una Sony Alpha DSLR-A100 con una lente DT 16-105mm F3.5-5.6. La distancia focal se mantuvo fija en cada una de las tomas, al igual que la distancia de enfoque.

Tabla 1. Configuración para cámara exterior

<b>Camera Model</b>	DSLR-A100 (16 mm)
<b>Resolution</b>	3872 x 2592
<b>Focal Length</b>	16 mm
<b>Pixel Size</b>	6,19 x 6,19 $\mu\text{m}$
<b>Precalibrated</b>	no

Tabla 2. Configuración para cámara interior

<b>Camera Model</b>	DSLR-A100 (22 mm)
<b>Resolution</b>	3872 x 2592
<b>Focal Length</b>	22 mm
<b>Pixel Size</b>	6,19 x 6,19 $\mu\text{m}$
<b>Precalibrated</b>	no

Se tomaron un total de 89 fotografías para los 4 lienzos que debían documentarse. No se trata de un gran número de tomas, en comparación con otros trabajos de documentación, pero lo que se pretendía con este trabajo era realizar un levantamiento volumétrico en lugar de detallar partes de la pared con gran resolución.

### 2.2.2. Escaneo láser terrestre (TLS)

La segunda técnica utilizada fue el escaneo láser terrestre o TLS.

Cuando se pretende estudiar geometrías más complejas (geometrías ramificadas, secciones irregulares, diferentes profundidades y diferentes planos de profundidad, superficies rugosas...), requiere la tecnología más avanzada posible. A diferencia de la fotogrametría de corto alcance, con TLS se obtiene una gran cantidad de información que permitirá generar un modelo geométrico más fiel a la realidad.

En este caso, el escáner láser utilizado fue el Focus 3D 120 de Faro, que cuenta con una cámara integrada, pudiendo asociar a cada punto

individual del escaneo, o píxel, el color correspondiente de la realidad, obteniendo así un mayor grado de detalle y realismo en el modelo digital.

En este caso la opción elegida fue mantener tanto la resolución como la calidad en un valor común para cada uno de los escaneos. Algunos de ellos no necesitaban ser documentados en color, reduciendo el tiempo de escaneo en menos de la mitad que con el modo monocromo. En la práctica, esto reduce significativamente el tiempo cuando el trabajo de escaneo es extenso y el color no va a proporcionar algunos datos necesarios para la documentación. En esta investigación no fue necesario aumentar la calidad de escaneo en algunos puntos, ya que el trabajo se iba a complementar con fotogrametría de corto alcance. Gracias a este último método de trabajo, fue posible lograr una mayor calidad de imagen en las áreas requeridas.

En total se realizaron un total de 16 escaneos, que una vez unidos gracias a los puntos de control, permitieron construir una maqueta completa de la "Puerta de la Colada".

Como referencia, los escaneos monocromáticos, con la configuración que se mostrará más adelante, no tardaron más de 5 minutos. En contraste, los escaneos en modo color superaron los 10 minutos. No se trata de un aumento de tiempo muy excesivo teniendo en cuenta la información extra que proporciona, aunque dependerá del número total de exploraciones a realizar y del tiempo disponible para ello.

A continuación se enumera la configuración de cada uno de los 16 escaneos realizados. La resolución y la configuración de calidad permanecieron intactas en cada uno de ellos, variando solo el rango de escaneo y la opción de recopilar datos con color.

## 2.3. Resultado obtenido. Postproducción digital

Una vez que se han tomado todos los datos de campo necesarios, es hora de reunirlos en un solo modelo para trabajar. No siempre es aconsejable trabajar con un solo modelo, ya que este podría ser de un tamaño difícil de manejar.

### 2.3.1. Fotogrametría de corto alcance

A continuación, la tabla 3 contiene los resultados obtenidos después del uso del software de

procesamiento de datos. La calibración se realizó automáticamente.

Tabla 3. Datos y parámetros de procesamiento

PROCESSING PARAMETERS	
POINT CLOUD	
Tie points	9,757
Projections	36,117
RMS Reprojection error	0,316316 pix
Max reprojection error	4,41964 pix
Mean key point size	1,85133 pix
Point colors	3 bands, uint 8
Key points	no
Average tie point multiplicity	3,56046
DENSE POINT CLOUD	
Points	16,794,906
Point colors	3 bands, uint 8

Con el modelo tridimensional ensamblado y habiendo obtenido la malla con la textura proporcionada por las múltiples fotografías tomadas, es el momento de obtener la ortofoto de cada uno de los lienzos de pared.

### 2.3.2. Escaneo láser terrestre

El programa para el procesamiento de datos proporciona tres modos para registrar los

diferentes escaneos que se han realizado en el Monumento, que son: 1) datos del objetivo, 2) puntos de control y 3) registro automático. Se decidió utilizar las tres vías de registro para comparar cual proporciona la mayor calidad para este tipo de Monumento.

El primer método para registrar los escaneos, los datos del objetivo, se realiza manualmente, seleccionando en cada uno de los escaneos el objetivo o las bolas de control utilizadas.

El segundo modo de registro también se realiza manualmente, pero en este caso se seleccionan puntos de control en común en cada uno de los escaneos.

Otros investigadores (por ejemplo, Senkal et al. 2021) llevaron a cabo un estudio comparativo entre el método de recopilación de datos con y sin puntos de control.

El último método se realiza automáticamente por el propio programa y se denomina auto-registro o registro automático.

Todos los datos comunes de cada uno de los métodos utilizados se han recopilado, en la tabla 4, para facilitar su comparación y análisis con el fin de obtener conclusiones finales.

Tabla 4. Datos comparativos de registro

Name	TARGET DATA			CONTROL POINTS			AUTO REGISTER		
	Overlap (%)	Balance (%)	Points < 6 mm (%)	Overlap (%)	Balance (%)	Points < 6 mm (%)	Overlap (%)	Balance (%)	Points < 6 mm (%)
Scan_058	<b>37,30</b>	<b>58,90</b>	97,50	36,90	56,90	<b>97,90</b>	35,20	36,70	99,30
Scan_056	<b>26,40</b>	59,30	99,30	26,20	<b>59,70</b>	99,40	10,00	33,40	<b>99,50</b>
Scan_055	<b>44,80</b>	23,40	97,20	43,90	<b>24,40</b>	97,70	32,10	16,60	<b>99,30</b>
Scan_054	<b>49,00</b>	15,20	97,10	48,30	14,90	97,60	40,60	<b>15,60</b>	<b>99,70</b>
Scan_053	39,50	<b>26,60</b>	99,00	<b>39,60</b>	<b>26,60</b>	99,00	37,20	24,30	<b>99,60</b>
Scan_052	<b>37,20</b>	<b>23,50</b>	99,10	<b>37,20</b>	<b>23,50</b>	99,00	32,60	21,80	<b>99,90</b>
Scan_051	<b>49,50</b>	20,20	99,20	<b>49,50</b>	20,10	99,20	47,40	<b>23,00</b>	<b>99,90</b>
Scan_050	<b>43,00</b>	19,90	98,90	<b>43,00</b>	20,00	99,00	42,10	<b>22,80</b>	<b>99,70</b>
Scan_049	8,30	20,90	98,10	<b>9,70</b>	19,40	96,40	6,20	<b>21,50</b>	<b>99,10</b>
Scan_048	<b>37,60</b>	25,50	99,30	36,60	<b>26,90</b>	<b>99,90</b>	35,90	26,80	<b>99,90</b>
Scan_047	<b>14,40</b>	<b>0,70</b>	<b>99,90</b>	<b>14,40</b>	<b>0,70</b>	<b>99,90</b>	10,70	0,00	99,70
Scan_046	<b>22,10</b>	52,60	<b>99,10</b>	21,60	<b>53,80</b>	<b>99,10</b>	5,30	16,30	86,10
Scan_045	<b>45,90</b>	<b>33,40</b>	<b>99,70</b>	<b>45,90</b>	<b>33,40</b>	99,60	40,20	11,70	99,00
Scan_044	<b>17,90</b>	28,60	<b>99,90</b>	<b>17,90</b>	28,60	<b>99,90</b>	<b>17,90</b>	<b>28,70</b>	<b>99,90</b>
Scan_043	<b>7,00</b>	63,20	<b>100,00</b>	<b>7,00</b>	63,20	<b>100,00</b>	<b>7,00</b>	<b>63,40</b>	<b>100,00</b>

Una vez que todos los datos se recopilan en una tabla común, se pueden comparar para decidir cuál de los tres métodos de registro es el más adecuado para la digitalización del Monumento con la precisión deseada.

A través de un análisis rápido se puede comprobar que el método basado en el auto-registro ha dado el resultado de menor precisión. Es probable que las exploraciones no contengan suficiente superposición o equilibrio.

La precisión de los resultados depende de la cantidad y distribución de esta superposición. Con los escaneos al aire libre, un problema común es una distribución insuficiente.

Entre los dos modos restantes, también se descartaron los puntos de control, ya que presenta menos superposición que los datos de destino y, por lo tanto, una menor calidad de imagen.

De los tres métodos anteriormente citados, el denominado como datos del objetivo fue el elegido para el procesamiento final del modelo.

Los datos obtenidos con este método proporcionaron una mayor calibración tanto en solapamiento, balance y puntos < 6mm. Este resultado no es sorprendente, ya que para el agrupamiento de los escaneos individuales se utilizaron más de tres puntos en común, algo que no es posible en el método a través de puntos de control y que proporciona una mayor calidad. Según Senkal et al. (2021) se obtiene un trabajo rápido y preciso con puntos de control, por lo que el uso conjunto de objetivos y puntos de control mejoró significativamente los resultados.

A continuación se muestran los modelos obtenidos después del registro de los escaneos:



Fig. 2- Nube de puntos

Las imágenes obtenidas de la fotogrametría y el escaneo 3D se importaron al programa de dibujo, para dibujar la geometría, corte de materiales y entorno de la "Puerta de la Colada". En este trabajo específico, se utilizó la fotogrametría para obtener los alzados o vistas frontales de las

diversas partes de la puerta y los paramentos verticales, los elementos específicos de detalle, como gárgolas o ménsulas de piedra para la restauración, y las texturas de los diferentes materiales y sus lesiones.

Con el escaneo 3D se obtuvo la geometría general del monumento, así como la relación de cada una de sus partes en la muralla y con respecto al entorno más inmediato de la ciudad.

Para presentar el trabajo final se decidió combinar los diferentes dibujos en un único plano en AutoCAD (Fig. 3 y 4), representando con diversas técnicas la información necesaria en cada elemento que configura el monumento.



Fig. 3- Alzado y sección del Monumento. Escáner 3D, fotogrametría y dibujo 2D

En algunos casos, el plano definitivo es una combinación de ortofoto y nube de puntos (Fig.3). En otros, base de dibujo 2D completada con la ortofoto (Fig. 4).

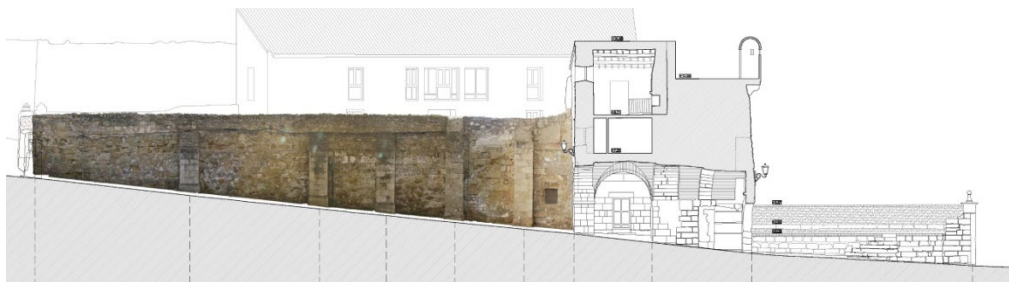


Fig. 4- Alzado y sección del Monumento. Fotogrametría y dibujo 2D

El método de toma de datos utilizado, fotogrametría de corto alcance o escaneo laser terrestre, ha sido escogido en función de la parte del Monumento a estudiar, pudiendo confirmar que ningún método es completo por sí mismo, tal y como concluyó Güleç Korumaz en su estudio sobre Çatalhöyük.

Según Lerma et al. (2010) la combinación de técnicas asegura una solución de alta calidad y reduce el trabajo en el campo con el escáner, ya que las piezas que fueron escaneadas sin color y con una configuración de calidad reducida se complementaron gracias a la fotogrametría. Es por ello por lo que se decidió realizar la combinación de técnicas descritas.



### 3. Castillo de Sagunto. Conocimiento del activo patrimonial y digitalización

#### 3.1. Introducción

A continuación se muestra el segundo de los ejemplos estudiados. Es el caso del Castillo de Sagunto (Valencia).



Fig. 5- Parte del conjunto del Castillo de Sagunto

#### 3.2. Trabajo de campo. Fotogrametría aérea

Al igual que en los casos expuestos en este artículo, como en la mayoría de los Bienes Culturales, no se disponía de planimetría completa y actualizada del conjunto defensivo del Castillo de Sagunto. Debido a su enorme extensión, se decidió realizar una fotogrametría aérea del conjunto, con el fin de obtener una base con la que poder trabajar para la posterior consolidación y restauración de varios lienzos.



Fig. 6- Planta del conjunto defensivo del Castillo de Sagunto realizado mediante fotogrametría aérea



Fig. 7- Alzado interior del lienzo suroeste del conjunto defensivo del Castillo de Sagunto realizado mediante fotogrametría aérea

Para la fotogrametría mediante dron se utilizó el Phantom 4 de la marca DJI con cámara integrada con sensor de imagen de 1/2.3"CMOS y objetivo FOV 94° 20 mm (formato equivalente a 35 mm), con apertura f/2.8 .

Se tomaron un total de 1459 fotografías.

Se realizaron un total de dos vuelos para la toma de datos. La altura y velocidad en el primer vuelo fue de 60 metros y 3 m/s respectivamente. En el segundo vuelo, el de detalle de la zona de actuación, fue de 20 metros y 1-2 m/s respectivamente.

#### 3.3. Resultado obtenido. Postproducción digital

Una vez generado los modelos tridimensionales o nube de puntos, se generan los alzados con un modelo de malla y textura.

Para este trabajo se desarrollaron dos nubes de puntos densa diferentes, una para cada uno de los lienzos y otra para el conjunto de estos.

A continuación se muestran varios ejemplos de los modelos obtenidos una vez realizada la postproducción necesaria.

## 4. "Salón de Reinos". Conocimiento del activo patrimonial y digitalización

### 4.1. Introducción

El último de los ejemplos que se han estudiado se conoce con el nombre de "Salón de Reinos". Este edificio formaba parte del Palacio del Buen Retiro. En estos momentos se están llevando trabajos de rehabilitación de todo el inmueble para albergar una de las ampliaciones del Museo del Prado.



Fig. 8- Fachada exterior del Salón de Reinos

### 4.2. Trabajo de campo. Escaneo láser terrestre (TLS)

El trabajo e investigación llevada a cabo en este inmueble se debe a la necesidad de realizar trabajos de consolidación del forjado de madera

de planta tercera, previo a los trabajos de adecuación para albergar, como se ha comentado anteriormente, la nueva ampliación del Museo del Prado.

Con el fin de contar con una base planimétrica y volumétrica del conjunto edificatorio, se decidió realizar un escaneo láser terrestre tanto del interior como del exterior del inmueble.

Al contrario que en el caso de la Puerta de la Colada, cada uno de los escaneos que se realizaron contaba con una configuración de resolución, calidad y color diferente. Esto es debido a la existencia de diferentes salas en el interior del inmueble con una gran riqueza arquitectónica, patrimonial y pictórica que requerían ser digitalizadas con una mayor dedicación que, por ejemplo, los núcleos de comunicación vertical.

En este caso se realizaron un total de 38 escaneos (11 exteriores y 27 interiores).

### 4.3. Resultado obtenido. Postproducción digital

A continuación se muestran varios ejemplos de los modelos obtenidos una vez realizada la postproducción necesaria.

Estos modelos sirvieron de base para la posterior producción de los planos y dibujos 2D del proyecto de consolidación.



Fig. 9- Sección longitudinal del Salón de Reinos con la fachada principal de fondo



Fig. 10- Sección longitudinal del Salón de Reinos. Muestra de las dos salas principales

## 5. Conclusiones

Al inicio del estudio de los Bienes Patrimoniales expuestos en el presente documento, no existía ningún tipo de planimetría básica de calidad en la que apoyar el trabajo de documentación y

análisis. Con el trabajo realizado se ha elaborado una planimetría real de la configuración del Monumento y se ha documentado el estado de conservación de cada una de sus partes.

La combinación de fotogrametría de corto alcance y escaneo láser terrestre ha demostrado ser particularmente eficiente y flexible. Los diferentes niveles de resolución y ángulos de visión de los dos sistemas de recolección de datos permitieron la producción de modelos 3D de acuerdo con los requisitos específicos del análisis del conjunto.

Los resultados obtenidos en la combinación de técnicas de recolección de datos son un gran punto de partida para un estudio arquitectónico, compositivo y funcional. Además, cuando varias de estas técnicas se combinan en un mismo proyecto de investigación e intervención, el valor de calidad del trabajo final aumenta.

El trabajo resultante, al utilizar este tipo de técnicas digitales, es de una alta calidad y gran eficiencia, ya que la ejecución del trabajo en el campo es bastante rápida si se compara con las técnicas tradicionales.

Gracias al conocimiento previo, no solo de la técnica sino de la historia del monumento, fue posible seleccionar los puntos precisos de TLS

para posteriormente analizar los espacios ocultos y perdidos que esta fortaleza tiene en su interior.

La fotogrametría de corto alcance no es una técnica exacta por sí sola, ya que requiere de un conocimiento técnico previo para la elección de fotografías y procesamiento de datos. Debido a la incidencia del sol y los cambios de luz por las inclemencias meteorológicas, las fotografías pueden no ser idénticas, lo que devolverá un resultado final impreciso y no homogéneo.

Por todo lo anterior, se ha demostrado que las nuevas tecnologías ofrecen una herramienta muy valiosa y precisa para el estudio, conservación, restauración y difusión del Patrimonio Cultural, cumpliendo el requisito fundamental de ser una metodología no destructiva o invasiva.

Este trabajo forma parte del desarrollo de una tesis doctoral que investiga sobre las técnicas de diagnóstico mediante pruebas no destructivas aplicadas al Patrimonio Cultural. Además, se busca crear un protocolo de desarrollo aplicado al dicho Patrimonio, que ayude a difundir el conocimiento y los resultados no solo a técnicos especialistas sino a otros ciudadanos.

## Referencias

- Arav, R., Filin, S., Avner, U., & Nadel, D. (2016). Three-dimensional documentation of masseboth sites in the 'Uvda Valley area, southern Negev, Israel. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 3 (1), 9-21.
- Balsa-Barreiro, J., & Fritsch, D. (2018). Generation of visually aesthetic and detailed 3D models of historical cities by using laser scanning and digital photogrammetry. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 8, 57-64.
- Bercigli, M. (2017): Documentation strategy for coastal towers of the Mediterranean: the case of the tower in the archeological site of Saturo (TA-ITA), in *FORTMED. Modern Age Fortifications of the Mediterranean Coast*, Alicante, Ángel Benigno González Avilés.
- Dayal, K.R., Tiwari, P., Sara, R., Pande, H., Kumar, S., Agrawal, S. & Srivastav, S. (2019). Diagnostic utilisation of ground based imaging and non-imaging sensors for digital documentation of heritage sites. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*. 15. e00117.
- Güleç Korumaz, S. (2021). Terrestrial Laser Scanning with Potentials and Limitations for Archaeological Documentation: a Case Study of the Çatalhöyük. *Advanced LiDAR*, 1(1), 32–38.
- Lambers, K., Einsenbeiss, H., Sauerbier, M., Kupferschmidt, D., Gaisecker, T., Sotoodeh, S. & Hanusch, T. (2007). Combining photogrammetry and laser scanning for the recording and modelling of the Late Intermediate Period site of Pinchango Alto, Palpa, Peru. *Journal of Archaeological Science* 34, 1702-1712.
- Sapirstein, P. (2016). Accurate measurement with photogrammetry at large sites. *Journal of Archaeological Science*, 66, 137-145.
- Senkal, E., Kaplan, G. & Avdan, U. (2021). Accuracy assessment of digital surface models from unmanned aerial vehicles' imagery on archaeological sites. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6 (2), 81-89.
- Xu, J., Ding, L., & Love, P. (2017). Digital reproduction of historical building ornamental components: From 3D scanning to 3D printing. *Automation in Construction*, 76, 85-96.