

# Documentación 3D de abrigos rupestres a partir de láser escáner y de procesos fotogramétricos automatizados

Miriam Cabrelles López<sup>1,2</sup> y José Luis Lerma García<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departament de Prehistòria i Arqueologia de la Universitat de València. España

<sup>2</sup> Grupo de Investigación en Fotogrametría y Láser Escáner (GIFLE). Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría de la Universitat Politècnica de València. España

## Resumen

La documentación métrico-gráfica del patrimonio cultural arqueológico requiere de soluciones efectivas que permitan archivar, visualizar, gestionar, analizar y monitorizar los distintos yacimientos y sitios existentes. El artículo que se presenta muestra el flujo de trabajo geomático desarrollado en las labores de documentación de un conjunto de arte rupestre de dimensiones singulares, Coves de la Saltadora. Dicha cueva forma parte del Arte rupestre del arco mediterráneo de la Península Ibérica inscrito en la lista de Patrimonio Mundial por la UNESCO en 1998. Se revisan las distintas etapas, desde la fase de captura hasta la entrega de parte de los productos métricos derivados, como son los modelos 3D, los modelos fotorrealísticos y los ortofotomosaicos a nivel general y de detalle.

**Palabras Clave:** DOCUMENTACIÓN PATRIMONIO CULTURAL, ARTE RUPESTRE, FOTOGRAMETRÍA, LÁSER ESCÁNER TERRESTRE, MODELADO 3D, VISUALIZACIÓN

## Abstract

Metric and graphic documentation of archaeological cultural heritage requires effective solutions for archiving, visualization, analysis, management, and monitoring of different monuments and sites. This paper presents the geomatic workflow undertaken on a singular rock art site, Coves de la Saltadora. The cave is part of the Rock Art of the Mediterranean Basin on the Iberian Peninsula declared World Heritage Site by UNESCO in 1998. The different steps are reviewed, starting from the data acquisition until the final delivery of part of the metric outputs such as 3D models, photorealistic models, orthophoto mosaics in two levels, general and detail.

**Key words:** CULTURAL HERITAGE DOCUMENTATION, ROCK ART, PHOTOGRAMMETRY, TERRESTRIAL LASER SCANNING, 3D MODELLING, VISUALIZATION

## 1. Introducción

Este artículo presenta la metodología de documentación métrica y los resultados obtenidos en el levantamiento del conjunto de abrigos decorados de Coves de la Saltadora, utilizando técnicas fotogramétricas y de escaneado láser terrestre.

La fotogrametría terrestre mediante imágenes digitales y el escaneado láser terrestre son dos soluciones habitualmente requeridas a la hora de documentar el patrimonio cultural, especialmente arquitectónico y arqueológico. Existiendo tres alternativas a la hora de abordar levantamientos arqueológicos complejos (LERMA et al, 2010):

- A. Fotogrametría a partir de imágenes como base y escaneado láser como complemento en zonas concretas (REMONDINO et al, 2009).
- B. Escaneado láser como base y fotogrametría a partir de imágenes como complemento en zonas concretas.

- C. Integración de láser escáner e imágenes digitales (LERMA et al, 2011).

La solución empleada para el Cingle de la Saltadora, pasa en primer lugar por la Alternativa C, utilizando un escáner láser terrestre para establecer la geometría espacial del conjunto y derivar el modelo 3D como base métrica del trabajo, y una secuencia de fotografías de los paneles o abrigos que serán las que se utilizarán en el texturizado 3D del conjunto. Asimismo, se obtendrán las ortofotografías (2D) de los abrigos. En segundo lugar se utilizará la Alternativa B a la hora de obtener ortofotografías y modelos texturizados a alta resolución de los motivos decorados.

A continuación se expone el flujo de trabajo seguido en el levantamiento fotogramétrico a diferentes escalas que nos ocupa (Fig. 1).

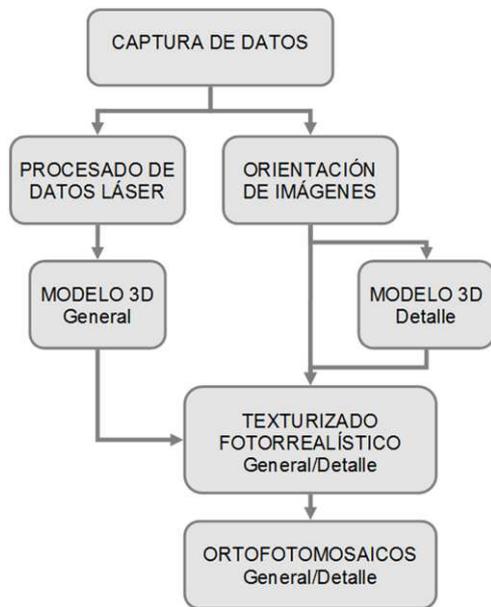


Figura 1. Esquema general de un levantamiento fotogramétrico a diferentes escalas

## 2. Caso de estudio

El Yacimiento de Arte Rupestre de Coves de la Saltadora (Coves de Vinromà, Castellón) se localiza en el margen izquierdo y a unos 70 m de altura sobre el fondo del Barranc de la Valltorta. Las pinturas se encuentran distribuidas en nueve abrigos rocosos discontinuos que cubren aproximadamente 110 m lineales y que pueden dividirse en dos subconjuntos: Saltadora Norte formada por los 5 primeros abrigos; y Saltadora Sur constituida por los cuatro restantes.

En el yacimiento pueden observarse gran cantidad de figuras, si bien el interés, a día de hoy, se centra únicamente en tres abrigos del Sector Norte. Esto es debido, por un lado, a que el estudio de los abrigos decorados mejor conservados se llevó a cabo años atrás (DOMINGO et al., 2007), y por otro, a las malas condiciones de visualización del resto, debido a una fina capa de barro que cubre su superficie.

## 3. Captura de datos

Esta parte del trabajo es fundamental en cualquier proceso de documentación, ya que un buen diseño de la toma de datos condiciona la calidad de los resultados obtenidos posteriormente durante la fase de procesamiento (LERMA et al., 2008). La captura de datos se realizó en dos momentos diferentes:

En una primera etapa se tomaron los datos necesarios para el levantamiento a escala 1/20 del Cingle de la Saltadora. La instrumentación utilizada fue el láser escáner terrestre ScanStation C10 de Leica Geosystems (Fig. 2), la cámara

calibrada Canon EOS-1Ds Mark III (Figs. 3 y 4), y un equipo GPS Leica de doble frecuencia que permitió posicionar la zona de actuación en el sistema cartográfico oficial.

En una segunda etapa, se tomaron imágenes, exclusivamente de las zonas donde existían calcos digitales (un total de 76 distribuidos entre los Abrigos I, III y IV) para la obtención de un modelo de muy alta resolución, que permitiera el estudio de los motivos aislados y de los paneles en 2D y 3D.



Figura 2. Estacionamiento del láser escáner frente al Abrigo I de Coves de la Saltadora



Figura 3. Toma de imágenes con la cámara Canon EOS 1Ds Mark III frente al Abrigo IX de Coves de la Saltadora

## 4. Procesamiento de datos láser

El volumen de datos láser ascendió aproximadamente a 74 millones de puntos espaciales (X,Y,Z) junto con sus valores de intensidad (I). La Fig. 5 muestra una visualización de los datos capturados con el equipo.

La fase de procesamiento de los datos láser comienza con la transformación de las nubes de puntos capturadas en los sistemas de referencia instrumentales (locales) a un único sistema de coordenadas objeto XYZ.

El siguiente paso consistió en la depuración de los datos. Para ello se filtraron redundancias y se eliminaron elementos ajenos al yacimiento. Además, se redujo el ruido del escáner.

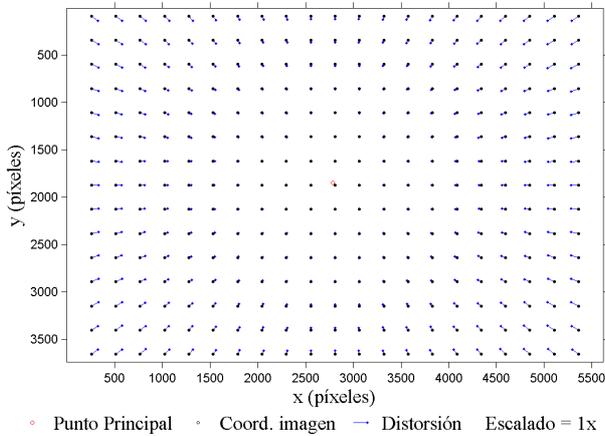


Figura 4. Gráfica de distorsión radial de la cámara Canon EOS 1Ds Mark III con objetivo Canon 24 mm



Figura 5. Vista en perspectiva de la nube de puntos con la intensidad del láser. Abrigos I y II de Coves de la Saltadora

### 5. Obtención del modelo 3D a partir datos láser

A partir de las nubes de puntos registradas y filtradas se obtuvo el modelo tridimensional de los cuatro primeros abrigos del Sector Norte, tras un proceso de triangulación 3D. La Fig. 6 muestra el modelo 3D generado del Abrigo I de La Saltadora.

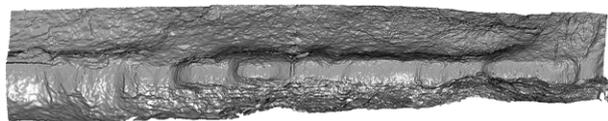
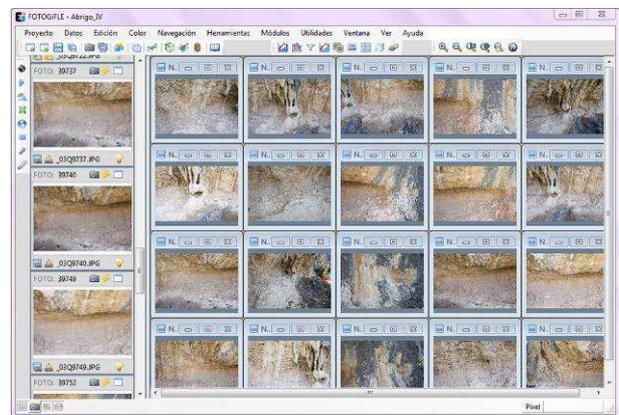


Figura 6. Vista en perspectiva del modelo 3D del Abrigo I de Coves de la Saltadora

### 6. Orientación de las imágenes

Para dotar de textura al modelo 3D, obtener ortofotografías, y para la generación de modelos a alta resolución fue necesario orientar en el espacio un total de 196 imágenes. En primer lugar, las imágenes se orientaron en bloque para obtener sus parámetros de orientación externa (Fig. 7). Posteriormente se realizó una transformación de semejanza 3D para determinar la orientación absoluta de las imágenes del bloque fotogramétrico respecto del modelo tridimensional. El programa empleado en los trabajos de calibración de cámara, orientación de imágenes, texturización fotogramétrica y obtención de modelo por correlación de imágenes es FOTOGIFLE, desarrollado e implementado por los miembros del Grupo de Investigación en Fotogrametría y Láser Escáner (GIFLE) de la Universitat Politècnica de València.



(a)



(b)

Figura 7. Vista del proyecto de orientación de las imágenes del Abrigo IV: a) Ventana principal de FOTOGIFLE; b) Resultado del proceso de orientación con los puntos XYZ medidos y la orientación espacial de cada imagen

### 7. Obtención del modelo 3D a partir de imágenes

El estudio de motivos de difícil interpretación y singularidad requiere la generación de modelos a alta resolución a partir de fotografías de detalle del abrigo. En este sentido, la generación del modelo 3D pasa por lanzar algoritmos automáticos de correspondencia o correlación de imágenes (CABRELLES et al, 2010). Alternativamente, también se podría utilizar instrumental

láser de corta distancia, sistemas de luz estructurada, entre otras soluciones mucho más costosas que la simple captura fotogramétrica a partir de imágenes digitales. La Fig. 8 muestra el resultado de la correlación de un par de imágenes. La densidad del modelo obtenido fue de 346021 puntos/m<sup>2</sup>, lo que equivale a una resolución espacial media de 1.7 mm.



*Figura 8. Vista en perspectiva de una nube de puntos a color obtenida a partir de un par de imágenes*

Tras un proceso de filtrado y eliminación de ruido se obtiene un modelo a alta resolución que permite observar el microrrelieve de la roca caliza.

## 8. Texturizado fotorrealístico

Para dotar de textura a los diferentes modelos 3D (general/detalle) se utilizaron un total de 116 imágenes. El programa FOTOGIFLE empleado para la texturización del modelo realiza un análisis de visibilidad contra el modelo 3D con tal de resolver los problemas comunes derivados de la texturización. Además, selecciona la mejor proyección de imagen sobre el modelo 3D.

En la Fig. 9 se muestra un modelo 3D simplificado, obtenido a partir de datos láser, con textura fotográfica.



*Figura 9. Modelo fotorrealístico 3D, Abrigo II de Coves de la Saltadora*

La Fig. 10 muestra el modelo 3D de detalle, obtenido mediante técnicas de correspondencia de imágenes, de un arquero del

Abrigo IV. Además también se presenta el modelo fotorrealístico.



(a)



(b)

*Figura 10. Modelo 3D de detalle obtenido mediante técnicas de correspondencia, Abrigo IV de Coves de la Saltadora: a) Malla coloreada; b) Modelo con textura fotográfica*

## 9. Ortofotomosaicos

Una ortofotografía es una imagen métrica en proyección ortogonal sobre un plano de referencia determinado, a diferencia de una fotografía convencional, que presenta una proyección perspectiva (cónica). Por tanto, la ortofotografía conserva únicamente la verdadera dimensión en los motivos emplazados en planos paralelos al plano de proyección.

La generación de los ortofotomosaicos requirió de los modelos 3D (general/detalle) y de 112 de las fotografías orientadas. El programa empleado también fue FOTOGIFLE. El tamaño del píxel elegido a la hora de generar las ortofotografías fue de 1 mm para generar los ortofotomosaicos de los abrigos completos, y de 0,1 mm para generar las ortofotografías de los motivos.

Se elaboraron cuatro ortofotomosaicos correspondientes a los cuatro primeros abrigos del Cingle de la Saltadora (Fig. 11). Para cada uno de ellos se eligió un plano vertical personalizado.



Figura 11. Ortofotomosaico del Abrigo I de Coves de la Saltadora

En el caso de las ortofotografías de detalle se eligieron diversos planos de proyección, en función de la distribución de los motivos sobre el abrigo. La figura 12 muestra la ortofotografía obtenida del arquero mostrado en la Fig. 10.



Figura 12. Ortofoto de detalle del Abrigo IV de Coves de la Saltadora

## 10. Conclusión

Este artículo presenta de manera resumida parte de los trabajos de documentación fotogramétrica realizados en un conjunto de arte rupestre de dimensiones singulares, como es el caso de Coves de la Saltadora (Coves de Vinromà, Castellón). Los resultados satisfactorios alcanzados se deben a la integración eficiente de las soluciones fotogramétricas a partir de imágenes digitales y escaneado láser de distancias medias. Si bien el equipamiento de partida es importante, podemos afirmar que más importante es el uso de programas que permitan derivar soluciones métrico-visuales de alta calidad.

Soluciones totalmente automáticas para la obtención de levantamientos existen en el mercado, pero no alcanzan hasta el momento la calidad métrico-visual requerida en trabajos de documentación rigurosa.

## Agradecimientos

Los resultados presentados se enmarcan dentro de dos proyectos de investigación, PROMETEO/2008/165 de la Generalitat Valenciana y HAR2010-18620 del Ministerio de Ciencia y Tecnología. Los autores agradecen la inestimable ayuda del Prof. Dr. Valentín Villaverde y de Trinidad Martínez de la Universitat de València, y la colaboración de Alfonso Enrique de Leica Geosystems.

## Bibliografía

- CABRELLES, M., SEGUÍ, A. E., NAVARRO, S., GALCERÁ, S., PORTALÉS, C., LERMA, J. L. (2010): "3D Photorealistic modelling of stone monuments by dense image matching". Commission V Symposium, Newcastle upon Tyne, UK. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII, Part 5, pp. 121-124.
- DOMINGO, I., LÓPEZ-MONTALVO, E., VILLAVERDE, V., MARTÍNEZ, R. (2007): Los Abrigos VII, VIII y IX de Coves de la Saltadora (Coves de Vinromà, Castellón). Monografías del Instituto del Arte Rupestre, 2, Generalitat Valenciana, València.
- LERMA, J. L., VAN GENECHTEN, B., HEINE, E., SANTANA, M. (2008): 3D RiskMapping. Theory and practice on terrestrial laser scanning. Training material based on practical applications. Universitat Politècnica de València: Valencia.
- LERMA, J. L., NAVARRO, S., CABRELLES, M., VILLAVERDE, V. (2010): "Terrestrial laser scanning and close range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the upper Palaeolithic cave of Parpallò as a case of study". Journal of Archaeological Science, 37(3): pp. 499-507.
- LERMA, J. L., NAVARRO, S., CABRELLES, M., SEGUÍ, A. E., HADDAD, N., AKASHEH, T. (2011): "Integration of laser scanning and imagery for photorealistic 3D architectural documentation". En: Laser Scanning, Theory and Applications (Chau-Chang Wang, Ed.). Intech, pp. 414-430.
- REMONDINO, F., GIRARDI, S., RIZZI, A., GONZO, L. (2009): "3D modeling of complex and detailed cultural heritage using multi-resolution data". ACM Journal on Computing and Cultural Heritage, 2(1): pp. 1-20.