

## From 3D to GIS. A comprehensive methodology for recording stratigraphy and its application in the MEMOLA Project.

### *De la documentación 3D al GIS. Una metodología integral de registro de la estratigrafía y su aplicación en el MEMOLA Project.*

This paper aims to demonstrate the scope of application of digital 3D photogrammetry in archaeological practice. The excavation of the “Pago del Jarafi” (Lanteira, Granada) carried out during from 2014 to 2017 within the framework of the European project MEMOLA, coordinated by the University of Granada has been taken an example. The development of new software, algorithms and 3D modelling techniques such as Structure from Motion (SfM) has made it easier for archaeologists to access higher quality and more accurate documentation. This paper also aims to demonstrate how this methodology has been included in our usual practice.

*En el presente artículo queremos demostrar las posibilidades de aplicación de la fotogrametría digital tridimensional en la práctica arqueológica. Tomaremos como caso la excavación del “Pago del Jarafi” (Lanteira - Granada) llevada a cabo durante los años 2014 a 2017 en el marco del proyecto europeo MEMOLA, coordinado por la Universidad de Granada. El desarrollo de nuevos softwares, algoritmos y técnicas de modelado 3D como el Structure from Motion (SfM) ha facilitado a los arqueólogos el acceso a una documentación de mayor calidad y precisión. Mostraremos cómo hemos incluido esta metodología en nuestra práctica habitual.*



**José María Martín Civantos**  
Associate Professor at Universidad de Granada. Department of Medieval History and Historiographic Techniques. Expertise areas: Islamic Archaeology, Landscape and Hydraulic Archaeology. Researcher in 27 projects and 19 research contracts. Awarded by the European Commission with a FP7 research grant to coordinate MEMOLA project: An historical Approach to Cultural Heritage based on Traditional Agrosystems (<http://memolaproject.eu/>).



**Pablo Romero Pellitero**  
Archaeologist specializing in geographic information systems and digital technologies of archaeological graphic documentation, 3d photogrammetry, as well as topography. Experience in virtual reconstruction of the heritage and elaboration of outreach materials in 3D. PhD student. Master in Arabic and Hebrew cultures: past and present by the University of Granada (2011). Researcher of the recently concluded FP7 MEMOLA project (2014-2017)

Key words:

Structure from Motion, GIS, Photogrammetry, 3D, Stratigraphy.

Palabras clave:

Structure from Motion, GIS, Fotogrametría, 3D, Estratigrafía.

## 1. INTRODUCTION

In *Storie dalla terra. Manuale di scavo archeologico*, Andrea Carandini represented a reality that every archaeologist faces at some point in time when excavating. He affirmed that “it is like burning the pages of the only existing copy of a book immediately after its reading. [...] A stratum, the preparation of a road surface, sewer or wall cannot be erected without destroying it” (Carandini, 1997:18). Hence, as a scientific discipline, we have sought to improve our information recording methods, so that the quantity and quality of information sacrificed in interventions are as low as possible. The photographic image has played an essential role in this respect.

An authentic revolution has taken place in the field of archaeological documentation in recent decades following the significant development of stereoscopic photogrammetry and the emergence of powerful rectification and 3D restitution software packages. Nowadays, it would be unthinkable to undertake an archaeological-heritage documentation project without these resources (Rodríguez Navarro, 2012: 5-7).

## 2. CONTEXT

In 2009, part of the group led by Martín Civantos took part in the Alcazaba de Guadix project (Granada, Spain) to support the creation of an archaeological park. This already represented a clear trend towards the implementation of various graphical data collection techniques (Martín Civantos and Ramírez Burgos, 2016; Calonge Maestro, 2011). Since then, we have been making an outstanding effort to implement more precise and exhaustive forms of documenting archaeological records digitally, framed within the application of Virtual Archaeology. The development and experimentation of this methodology has been carried out in the efforts to restore the castle and town of Illora from 2012 to 2014 (Granada, Spain), in Pizzo Monaco from 2014 to 2016 (Custonaci, Trapani, Italy) and in the excavation campaigns of “Pago del Jarafi” from 2014 to 2017 (Lanteira, Granada, Spain) [1]. All of them were documented in an entirely digital manner. However, we will only be focusing on the latter case in this paper. Pago del Jarafi is in the eastern part of the municipality

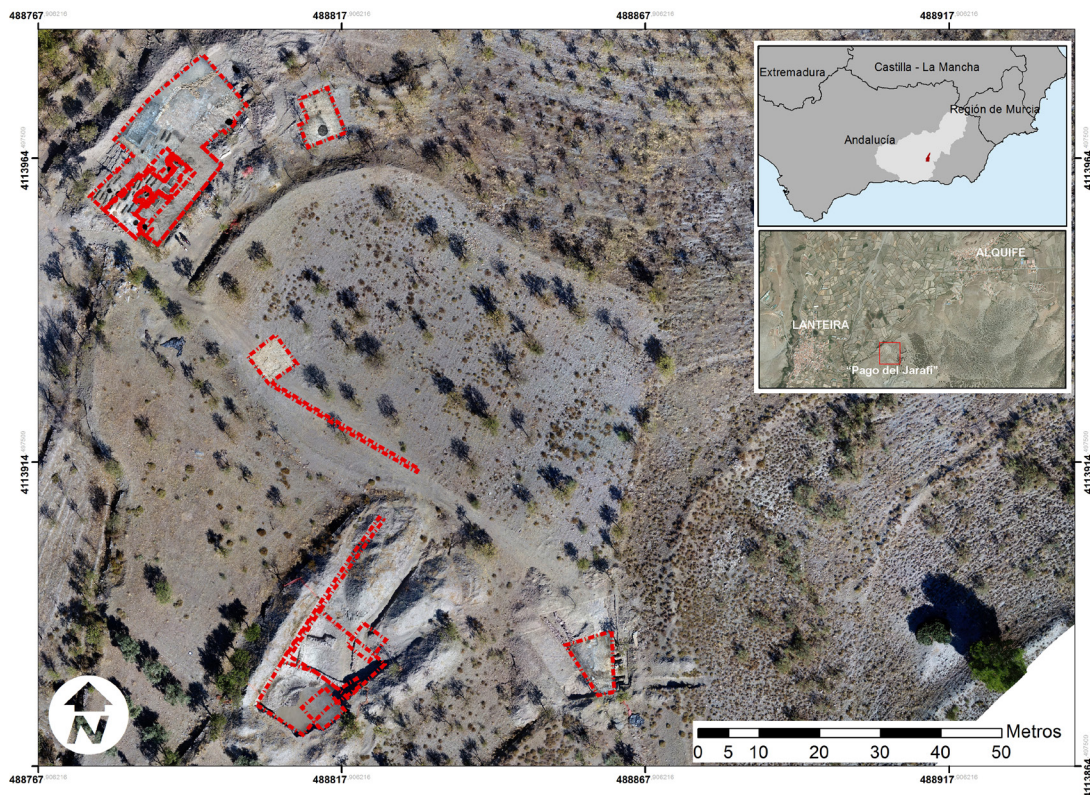


Fig. 1- Location plan of the site “Pago del Jarafi” (Lanteira, Granada).

and the meadow of Lanteira. It is a traditionally cultivated land that houses several archaeological sites, related spatially, functionally and chronologically between each other. The one we have excavated is an old quarter of the Lanteira alqueria, located on a small hill just above the main channel of the irrigation system of the Barrio River. It lies between the towns of Lanteira and Alquife. Just to the north, about 300 m away, there is another quarter on top of small hill. Initially, the chronology assigned to the material collected on the surface placed it from the time of the Arab-Berber conquest of the eighth century until the end of the

twelfth century. Archaeologically speaking, we have been able to document the abandonment of these two settlements in favour of another new quarter that was created around the Castle of El Barrio, built in the twelfth century, and that was more appropriately known as the Barrio del Jarafi until its abandonment after the expulsion of the Moors in 1568-71. This concentration process was also confirmed by a tax document of the sixteenth century stating that the Jarafi was formerly Benizahala and Benahaque. This highlighted the presence of two Arabic place names of a tribal nature that made this space particularly interesting, especially to

document the implantation processes of the new population and their relationship with the irrigation areas and the modifications in the productive systems and landscape. Moreover, the archaeological site contained a silo found by a neighbour years ago while ploughing with his mules (Martín Civantos, 2007:73-77, 662-663). All these circumstances foreshadowed interesting results for the objectives of the MEMOLA project, which sought to study the historical relationship between man and the natural environment in the creation of agrosystems, with special attention to the use of water and the management of soil [2]. It is an inter and transdisciplinary project involving specialists from ten partner institutions and five countries. To this end, we chose four distinct areas along the northern shore of the Mediterranean Sea. One of them was Sierra Nevada, in the southeast of the Iberian Peninsula.

In fact, the excavation has produced truly magnificent results in many respects, although not without difficulties due, above all, to the important changes in topography that took place after the abandonment of the quarter, between the end of the twelfth and beginning of the thirteenth century. This entire area then became an area of eventual irrigated land, and it was necessary to terrace the hillside, which significantly altered the terrain. This complicated archaeological visibility to some extent. To this, we must add the uselessness of the geophysical prospecting carried out beforehand, probably due to soil conditions. In any case, with the opening of seven large sondages and two trenches, we found numerous remains that extend the chronology a little bit, mainly with the presence of a rural settlement dated before the arrival of Arabs and Berbers, in the seventh century.

In short, it can be said that, in addition to a number of profoundly devastated domestic structures belonging to at least four phases, we have documented two cemeteries and several productive and storage structures and a mosque. The cemeteries belong to two distinct phases and are separated in time: one belonged to the period between the seventh and ninth centuries, and the other between the eleventh and twelfth centuries. Among the productive structures, there are metal smelting and ceramic furnaces. The storage area is represented by a set of silos of different sizes and some shelves that were used to anchor large earthenware

pitchers. Finally, one of the main surprises has been the excavation of a small rural mosque that served the quarter, and that was not even the mosque for the Moorish quarter or the main mosque of the alqueria (the village) [3].

The main approach from the outset of the intervention at the site was to document it in full digitally, especially the stratigraphic sequence. It has thus been possible to manage both the graphical part (photography, 3D and 2D photogrammetry, plans and sections) and the alphanumeric documentation.

### 3. METHODOLOGICAL BASIS

At the beginning of this paper, we referred to the nature of the archaeological activity and the consequent loss of information, particularly when the elements that provide it are the layers that make up the archaeological site. Some research has attempted to quantify the volume of information lost due to a partial methodology, omission in the recording, lack of digital documentation means, etc. Such is the case of the city of Guadix (Granada, Spain), where a total of 58 interventions corresponding to the period 1986-2009 were analysed and revealed worrying results (Ramírez Burgos and Martín Civantos, 2016).

In this vein, the evolution of the archaeological methodology has been focused on improving the quantity and quality of the data we take on what we are excavating. For this reason, the application of new technologies in Archaeology is becoming increasingly important. A clear reference is the Çatalhöyük Project (Turkey) "3D-Digging at Çatalhöyük" (Forte, Dell' Unto, Issavi, Onsurez and Lercari, 2012), which aims to reproduce the entire archaeological excavation process virtually by using 3D technologies (laser scanning, virtual viewfinders, image modelling, etc.). By doing this, the excavation process will be virtually reversible, by digitally reproducing all the phases of the excavation process. This is an idea that we strongly share because of the possibilities it adds to the research and continuous analysis process of the results.

The application of 3D technologies in the documentation and reconstruction of architectural spaces, as well as important built heritage elements, has always been a tedious task, but this does not seem to be the case

with the recording of stratigraphic sequences linked to archaeological excavations. In recent years and with the technological improvements and greater ease of access to these tools, it has become a feasible reality in line with the economic capacity of the sector. This can also be seen in the interesting methodological experience carried out in the archaeological intervention of Lo Boligni (Alicante, Spain) in 2010 (Charquero Ballesster and López Lillo, 2012).

### 4. WORKFLOW

The workflow presented in this paper is structured in two main phases: fieldwork focused on obtaining primary data, and a research work phase focused on processing such data to obtain results susceptible of analysis that helps in the historical-archaeological study.

The digital image is the main element in this workflow, so excavation sites require a photography capture protocol focused on 3D modelling. The record consists of an exhaustive photographic recording of each Stratigraphic Unit (SU), which, in our case, is the basic unit of documentation. This system conforms perfectly to the guidelines of an archaeological excavation with the stratigraphic methodology. Once we have a fully delimited SU (or several of them) on the surface, we move on to the preliminary documentation prior to its (or their) removal in search of the SU under the surface. The number of photographs will be determined by the features of the SU, such as dimensions, typology (filling of earthy matrix, collapse of building materials, walls, etc.) and external factors, such as changing lighting throughout the day, parts of the same SU documented at different times and/or years, etc.

We used a Canon EOS 600D camera with a Sigma DC 17-50 2.8 EX HSM Nikon lens located at a fixed focal length of 17 mm for this phase of the job. Due to having to document large areas, we used an extensible pole to reach a shooting height of up to 5.5 metres, and an LCD screen kit and a remote trigger to ensure the frame and optimise each shot.

It would be inconceivable to implement this methodology without topographic support. At the end of the eighties of the last century, the dissemination of topographical techniques reappeared due to the com-





mercialisation of the total station with coaxial distance meter (Ángas Pajas and Uribe Agudo, 2017:100). The total station allows recording distances and angles along with the coordinate calculation of all measured points. This allows us to georeference the work, bring great precision to the 3D model, connect different SUs, relate successive excavation campaigns, etc.

In order to carry out this part of the work, a topographic network was established around the site within an absolute coordinate system, in this case, ED50 [4]. This network allows us greater freedom to establish the total station and to move through the different sondages and excavation areas. We used the Leica Flexline TS02. The photographic and topographical data collection is connected by a series of targets, also called control points, which we insert into the SU we are documenting. These targets are collected in the images and then measured with the total station. Known coordinates are assigned to them, which allows relating both works.

Once we have documented an SU on the site and completed its excavation, we move on to the laboratory work phase.

The first step is based on the use of Structure from Motion (SfM) software to produce volumetric models from 2D images. The SfM technique stems from the computer vision area. Its principles are similar to stereoscopic photogrammetry since geometry and volume are determined by a series of overlapping images. However, the main difference is that, in SfM, the software automatically determines the geometry, shooting positions and orientation (Westoby, Brasington, Glasser, Hambrey and Reynolds, 2012; Pereira Uzal, 2013). Nowadays, the implementation of SfM represents a great advance in the use of photogrammetry within the workflow of an increasing number of archaeological projects.

Fig. 2 - Photograph of one of the silos subsequently reused as a burial (L. Delgado Anés).

Fig. 3 - A topographic survey conducted during the 2017 campaign (L. Delgado Anés).

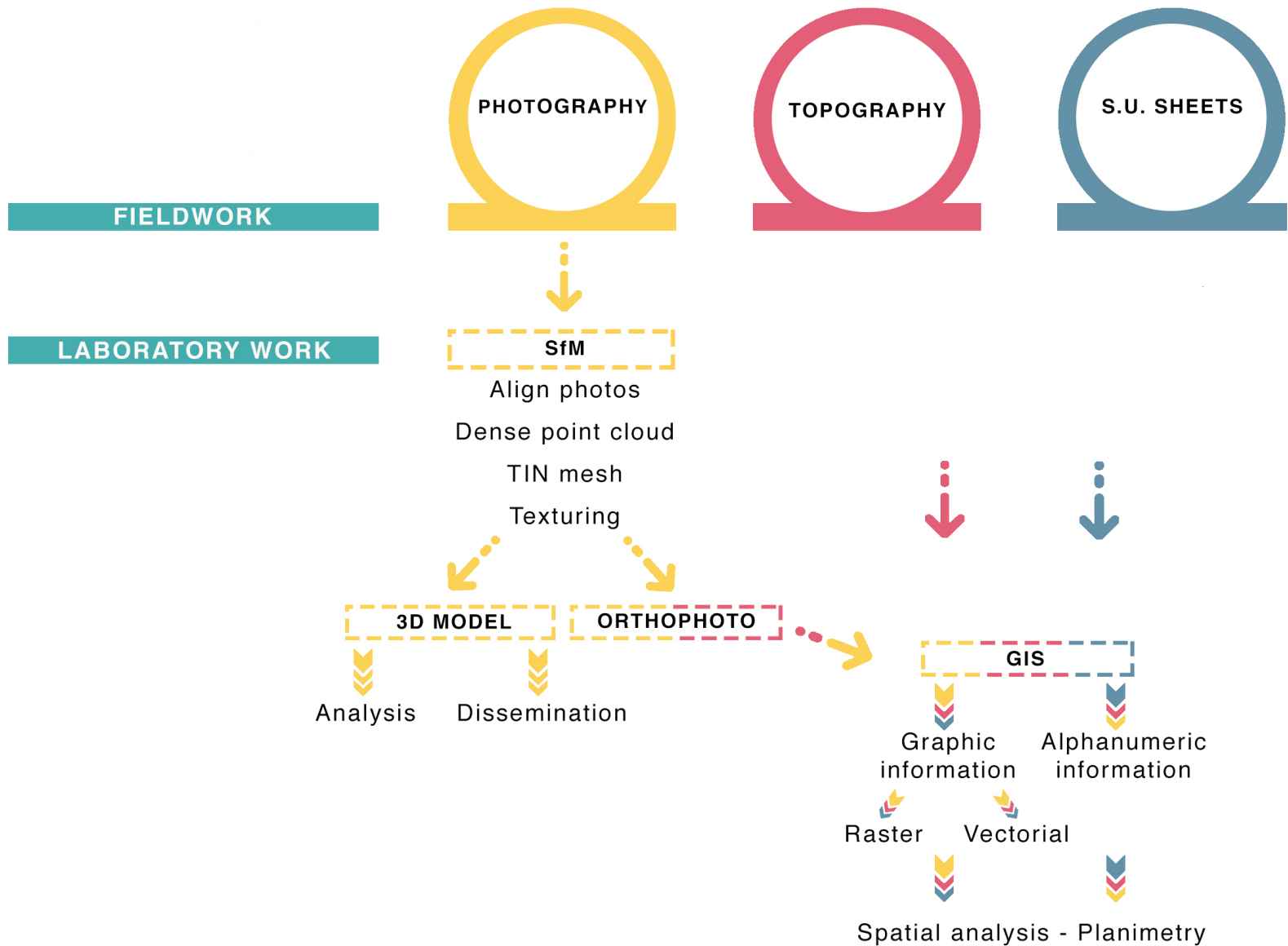


Fig. 4 - Workflow of the methodology used.





Starting from a set of images with a high degree of overlap between them, we aligned and oriented the photographs and then generated point clouds. These initial point clouds do not have a high density and are the result of what is known as a Bundler adjustment. According to Pereira Uzal (2013), this allows the spatial distribution of the pixels identified in multiple images taken from different angles. The detection of these points, as mentioned above, is carried out automatically by the SIFT (Scale Invariant Feature Transform) recognition system (Westoby et al., 2012: 302). The scarce definition of this initial point cloud requires a densification process to generate a greater concentration of vertices. Sometimes we can generate clouds with millions of points that allow us to better define the surfaces and attain a more realistic geometry. Each of these vertices is assigned a range in the RGB scale derived from the information extracted from the corresponding pixel in the source images (Pereira Uzal, 2013: 81).

The generation of a mesh using this dense cloud is the next step in data processing. This process is carried out by applying an algorithm that allows triangulating the points and generating a TIN (Triangulated Irregular Network) surface based on them. The definition and precision of this mesh stem, to a large extent, from the density of the point cloud (Benavides López, Aranda Jiménez, Sánchez Romero, Alarcón García, Fernández Martín, Lozano Medina and Esquivel Guerrero, 2017: 498).

The final phase of the work with the image processing and 3D model generation software [5] is to produce an orthophoto in the chosen coordinate system. In this case, the result of the 3D photogrammetry is quite an advance compared to the already exceeded 2D because it is free of any perspective error.

The other fundamental pillar of this comprehensive documentation system is the integration of alphanumeric and geometric information through the use of Geographic Information Systems (GIS) and relational databases. The result is a more complete and complex record, which enables us to carry out an in-depth analysis of the archaeological site at the laboratory [6]. GIS operate in a two-dimensional environment, hence the need to generate an orthophoto with geometric properties capable of taking advantage of the full po-

tential of these programmes to interact with metric information, obtaining measurements not taken during fieldwork. Although GIS do not operate with three-dimensional representations dynamically, they stand out for their ability to combine graphical information (both raster and vectorial) and alphanumeric information thanks to a complex Database Management System. The GIS as a tool in Archaeology helps manage and process huge amounts of data, and the possibility of performing spatial relations analysis between stratigraphic units, spatial distributions by typologies and chronologies, etc. (Valenti, 1991).

## 5. RESULTS

We have found that these types of recording techniques allow reducing the time spent on large-scale data collection compared to the time spent on these tasks if we were to use traditional techniques. All that time can be devoted to excavation work itself. An example of this is the necropolis of Panoria (Granada, Spain), which has seen enormous time savings. In this case, 34.5 hours were required for registration by traditional methods as opposed to the 3 hours required for documentation with the use of these techniques and

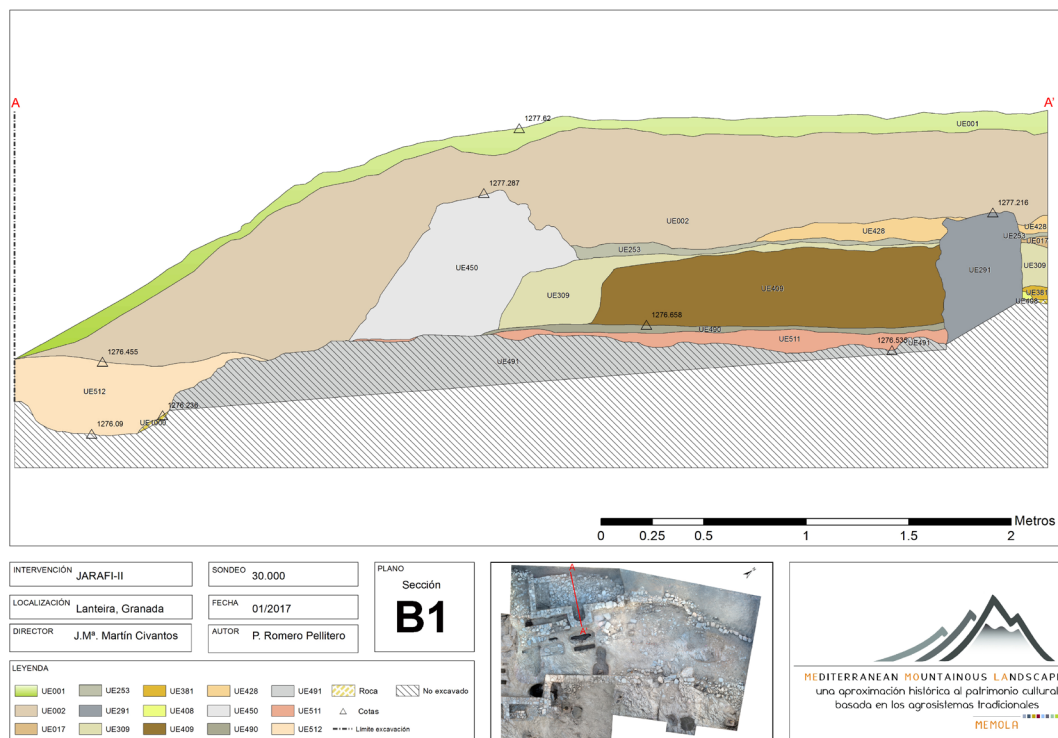


Fig. 6 - Section derived from 3D modelling.





Fig. 7 - Rendering of the volumetric reconstruction of the stratigraphic sequence of the 50,000 sounding and 3D model of the phases of a 30000 sondage structure, available on Sketchfab.

the support of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) (Benavides et al., 2017). The ability to manage and analyse large amounts of data is one result of this methodology. For the intervention at the “Pago del Jarafí” site, we accounted for 620 SUs (positive and negative), 43 individuals from two necropolises, 124 structures and 67 structural complexes [7]. We have alphanumeric information

from the sheets filled in on the site, and graphical information, both raster and vectorial, of all of them. We have the possibility of drawing countless plans, elevations and sections with the digital documentation and the methodology used. Planimetric documentation is paramount since it is the means to jointly express visual representation and dimensional data in a two-dimensional medium (Almagro Gorbea, 2004:28).

This is why a tool that allows extracting planimetries and sections from any part of the intervention without having to plan it on site is quite appealing. These techniques have also proven to have enormous potential for dissemination tasks. We normally limit scientific documentation to our professional field, so we use a coded language that is complex to understand by the non-versed public. The rendering of th-



ree-dimensional models of the different stratigraphic units has a great informative and educational value, especially if we carry out volumetric reconstructions of the stratigraphic sequence excavated.

The new forms of communication that have emerged since the end of the twentieth century are effective tools to move forward in disseminating and communicating archaeological discoveries (Delgado Anés, Romero Pellitero and Richardson, 2017). In the MEMOLA project, we have endeavoured to be consistent with this idea and make it part of all our activities. One of the routes taken for this has been Sketchfab, a social network specialised in 3D models, where we have shared numerous models taken from the Pago del Jarafi site (Delgado Anés, 2017:7 336-337).

## 6. DISCUSSION

Using complete registration methodology for each stratum is a reality, but several issues also arise. The volume of data generated in each intervention is high, especially if we work with high resolutions, so storing and managing all this information becomes a technological and physical challenge. This forces us to invest in hardware to store all the images and 3D models, but also to consider alternative technological solutions to solve obsolescence problems of the current formats we use.

Archaeological regulatory administrations tend to lag well behind in the assimilation of new tools, but a possible solution would require greater involvement of such administrations in the creation of protocols and standards for data storage and survival. In the meantime, we are losing the possibility of making our research more transparent, as the option for other researchers to access our raw data would allow them to virtually reconstruct the excavation process and analyse our interpretation of the facts.

Another challenge this methodology faces is the loss of analysis possibilities when working with two-dimensional supports. We understand that the three-dimensional reality of stratigraphy must be reflected in the documentation accordingly. GIS are currently very powerful tools but are very limited to two-dimensional geometries. The emergence of three-dimensional BIM (Building Information Modelling) systems can help sol-

ve this problem. Their origin is linked to Engineering and Architecture, but some work has already been done in the area of emerging architectural heritage, framed within the so-called HBIM (Historic Building Information Modelling). The use of these tools in the context of the stratigraphic sequence continues to have limitations that will probably not have too much future (Katsianis, Tspidis, Kotsakis and Kousoulakou, 2007; Benavides López, 2017).

## 7. CONCLUSIONS

The methodology applied in Pago del Jarafi is the result of an experimentation and learning process that began in 2009, at least. This has allowed us to improve workflows, time and effort efficiency, both on the site and in the laboratory, not to mention data accuracy and applicability. We would like to point out, first of all, that this is a comprehensive data processing method of archaeological information obtained from the excavations, which includes both graphic and alphanumeric documentation. This obviously includes georeferencing all the elements that have a spatial dimension. A three-dimensional documentation is carried out throughout the process that allows the user to subsequently switch to two-dimensional formats for operation on a GIS platform. This way, we obtain a three-dimensional model of the entire sequence with its original textures and a high degree of precision that has wide applications not only from the scientific and administrative point of view but also for dissemination purposes.

Over these years, the method has proven to be rigorous and effective, and replicable in different contexts provided the stratigraphic excavation methodology is followed. As we have already said, the minimum unit of documentation is the SU (although a higher level of detail could also be reached, up to the object, if considered necessary and the conditions are met). This also makes it necessary to adapt our fieldwork in part, taking into account the way in which SUs are to be documented, in order to take special care to keep them in full view during the excavation, to avoid sectioning them or any other operation that may complicate subsequent processing. This methodology, however, allows archaeologists to conceive the archaeological site and the excavation process in four dimensions and

overcome the two-dimensional paradigm that has prevailed since the nineteenth century. Thus, not only are open areas much easier to manage and understand, but also profiles are no longer important since sections can be made wherever and in whichever direction. The representation of these profiles, like that of the plans, becomes only a problem of print format or of output, which makes the sequence itself more comprehensible and serves to demonstrate it.

Similarly, it also makes it possible to integrate the emerging building structures into the same sequence and documentation system more easily and consistently. This, however, raises the problem of the limits of Archaeology of Architecture itself, which works with facings, and the new uses of the BIMs we mentioned above.

Undoubtedly, this workflow saves a considerable amount of time on the site, and at the same time, all the SUs can be documented with the same degree of detail and precision. There becomes no need to sacrifice or save time during the excavation process on the archaeological site. The entire sequence, all the units, is processed in the same way, and we can have a complete reading. This is especially useful for emergency or restoration support interventions, often conditioned by a lack of resources and time during excavation. It is true that laboratory work requires a significant investment later on, but as data collection becomes more precise and the technology allows faster processing of images, these times and the corresponding effort are shortened.

Finally, we would like to highlight the fact that, although this method goes beyond a three-dimensional aesthetic representation, its use has enormous potential from a didactic and informative point of view, since it allows a better understanding of the site and the interpretation of the sequence and, therefore, of the historical interpretation and of Archaeology itself. In this vein, this type of applications allows for a better socialisation of scientific knowledge and a greater impact of our discipline from the social point of view, which should mean a greater and better protection and conservation of the heritage, especially of the non-monumental or artistic heritage, whose values reside in its capacity to generate historical knowledge.

## NOTES

[1] This digital recording methodology has been developed and refined with the advice of Maurizio Toscano, specialist in digital information management from Eachtra Archaeological Projects Ltd.

[2] MEMOLA Project: "Mediterranean Mountainous Landscapes: a historical approach to cultural landscapes based on traditional agrosystems", financing of the Seventh Framework Programme of the European Union (FP7/2014-2017) under Grant Agreement No 613265.

[3] Information corresponding to the Reports and Preliminary Reports of the interventions of 2014, 2015 and 2016; currently in press. Martín Civantos et al.

[4] The ED50 system has been in force in Spain since 1970 until 2007, when the ETRS89 system was adopted by virtue of Royal Decree 1071/2007, giving a transitional period of adaptation that ended in 2015. Our team has continued to work on this system in order to maintain consistency with the work carried out over these years, but we are in the process of updating our databases to the new reference system.

[5] We used the Agisoft PhotoScan software under a university license.

[6] The relational geodatabase used in the archaeological excavation of "Pago del Jarafí" has been developed by Maurizio Toscano, responsible for computer management of archaeological data of the MEMOLA project.

[7] These calculations do not include data for 2017, as we are still working on it.

## BIBLIOGRAPHY

Almagro Gorbea, A. (2004). Levantamiento arquitectónico. Granada: Universidad de Granada

Angás Pajas, J. & Uribe Agudo, P. (2017). Técnicas geomáticas para la documentación e investigación del patrimonio cultural. In M. Martín-Bueno & J. C. Saénz Preciado (Eds.), *Topografía aplicada a la arqueología* (pp. 99-125). Zaragoza: Pressas de la Universidad de Zaragoza.

Calonge Maestro, E. (2011). Nuevas tecnologías y registro gráfico. Un modo de representación y análisis del registro arqueológico de la Alcazaba de Guadix (Granada). Trabajo de Fin de Máster. Granada: Inédito.

Charquero Ballester, A.M., & López Lillo, J.A. (2012). Registro tridimensional acumulativo de la secuencia estratigráfica. *Fotogrametría y SIG en la intervención arqueológica de lo Boligni (Alacant)*. *Virtual Archaeology Review*, 3(5), 81-88.

Benavides López, J., Aranda Jiménez, G., Sánchez Romero, M., Alarcón García, E., Fernández Martín, S., Lozano Medina, A., & Esquivel Guerrero, J. (2016). 3D modelling in archaeology: The application of Structure from Motion methods to the study of the megalithic necropolis of Panoria (Granada, Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 10, 495-506.

Benavides López, J. (2017). Nuevas tecnologías aplicadas a la documentación del patrimonio: La alcazaba de Guadix - el castillo de Piñar (Doctoral dissertation). University of Granada, Spain.

Carandini, A. (1997). *Historias en la tierra. Manual de excavación arqueológica*. Barcelona. Crítica

Delgado Anés, L. (2017). Gestión, comunicación y participación social en los paisajes culturales de Andalucía. El caso del proyecto MEMOLA (Doctoral dissertation). University of Granada, Spain. [http://hdl.handle.net/10481/47164]

Delgado Anés, L., Romero Pellitero, P. & Richardson, L.J., Virtual archaeology through social networks. The case of the I Public Archaeology Twitter Conference. In III Congreso de la Sociedad Internacional. Humanidades Digitales Hispánicas. Sociedades, políticas, saberes, Málaga.

Douglass, M., Lin, S., & Chodoronek, M. (2015). The application of 3D photogrammetry for in-field documentation of archaeological features. *Advances in Archaeological Practice*, 3(2), 136-152.

Forte, M., Dell'Unto, N., Issavi, J., Onsurez, L., & Lercari, N. (2012). 3D archaeology at Çatalhöyük. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 1(3), 351-378.

Katsianis, M., Tshipidis, S., Kotsakis, K., & Kousoulakou, A. (2008). A 3D digital workflow for archaeological intra-site research using GIS. *Journal of Archaeological Science*, 35(3), 655-667.

Martín Civantos, J.M. (2007). *Planiamiento y territorio Medieval en el Zenete* (Granada). Granada: Universidad de Granada.

Martín Civantos, J.M., Ramírez Burgos, M., Romero Pellitero, P., Bonet García, M.T., Pérez Fernández, A., Fernández Moles, R. *Intervención Arqueológica Puntual en Lanteira* (Proyecto MEMOLA). Granada. In *Anuario Arqueológico de Andalucía*. 2014. En prensa.

Martín Civantos, J.M., Romero Pellitero, P., Ramírez Burgos, M., Bonet García, M.T. & Pérez Fernández,

A. *Memoria final de II Campaña de excavación arqueológica en el Pago del Jarafí* (Lanteira, Granada) incluido en el Proyecto General de Investigación: Estudio de los paisajes históricos de Sierra Nevada. In *Anuario Arqueológico de Andalucía*. 2015. En prensa

Martín Civantos, J.M., Román Punzón, J.M., Corselli, R., Rouco Collazo, J., Romero Pellitero, P. & Bonet García, M.T. *Pgl Estudio de los paisajes históricos de Sierra Nevada: II fase. Informe preliminar III Campaña excavación arqueológica en el Pago del Jarafí* (Lanteira, Granada). In *Anuario Arqueológico de Andalucía*. 2016. En prensa

Martín Civantos, J.M., & Ramírez Burgos, M. (2016). La alcazaba de Guadix (Granada). Excavación dentro del proyecto de parque arqueológico. In CODOLI (Ed.), *El patrimonio arqueológico: de las trincheras a la sociedad*. La Granada invisible (pp. 179-184). Granada: CODOLI de Granada, Almería y Jaén.

Pereira Uzal, J. (2013). *Modelado 3D en patrimonio cultural por técnicas de structure from motion*. Ph Investigación, 1, 77-87.

Ramírez Burgos, M., & Martín Civantos, J.M. (2016). ¿Cuánto perdemos en las intervenciones urbanas? Homogeneización, análisis y cuantificación de la documentación arqueológica de Guadix (Granada). *Arqueología y Territorio Medieval*, 23, 183-203.

Rodríguez Navarro, P. (2012). *Alcune riflessioni sul "Disegno con la fotografia digitale"*. *DisegnareCon*, 6(12), 1-7.

Valenti, M. (2000). *La piattaforma GIS dello scavo. Filosofia di lavoro e provocazioni, modello dei dati e "soluzione GIS"*. *Archeologia e Cal-*

*colatori*, 11, 93-109.

Westoby, M.J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300-314.



## ***De la documentación 3D al GIS. Una metodología integral de registro de la estratigrafía y su aplicación en el MEMOLA Project.***

### 1. INTRODUCCIÓN

Andrea Carandini en su obra *Storie dalla terra. Manuale di scavo archeologico* recogía una realidad a la que se enfrenta todo arqueólogo al excavar. Afirmaba que “equivale a quemar las páginas del único ejemplar existente de un libro inmediatamente después de su lectura. [...] No se puede levantar un estrato, la preparación de un pavimento, una cloaca o un muro sin destruirlos” (Carandini, 1997: 18). Es por ello que, como disciplina científica, hemos perseguido mejorar la metodología de registro de información, de modo que la cantidad y la calidad de información sacrificada en las intervenciones resultaran la mínima posible. En dicha tarea la imagen fotográfica ha tenido un papel imprescindible.

En las últimas décadas, a raíz del gran desarrollo de la fotogrametría estereoscópica y la aparición de potentes *softwares* de rectificación y restitución 3D, se ha producido una auténtica revolución en el ámbito de la

documentación arqueológica. En la actualidad resulta impensable emprender un proyecto de documentación arqueológica-patrimonial sin contar con este recurso (Rodríguez Navarro, 2012: 5-7).

### 2. CONTEXTO

En 2009 parte del grupo dirigido por Martín Civantos intervino en la alcazaba de Guadix (Granada - España) como apoyo a la creación de un parque arqueológico. En dicha intervención ya se observa una clara tendencia a la implementación de diversas técnicas de recogida de datos de carácter gráfico (Martín Civantos y Ramírez Burgos, 2016; Calonge Maestro, 2011). Desde ese momento hemos venido realizando un importante esfuerzo en la puesta en marcha de formas más precisas y exhaustivas de documentación digital del registro arqueológico, enmarcados en la aplicación de la Arqueología Virtual. El desarrollo y experimentación de esta metodología se ha llevado a cabo en la inter-

vención de apoyo a la restauración del castillo y villa de Íllora desde 2012 a 2014 (Granada – España), en Pizzo Monaco desde 2014 a 2016 (Custonaci, Trapani – Italia) y en las campañas de excavación del “Pago del Jarafí” desde 2014 a 2017 (Lanteira, Granada – España) [1]. Todos ellos fueron documentados de manera totalmente digital. Es en este último caso en el que nos centraremos.

El Pago del Jarafí se sitúa en la parte oriental del municipio y la Vega de Lanteira. Se trata de un espacio tradicional de cultivo en el que se encuentran varios yacimientos que están relacionados entre sí, tanto espacial y funcionalmente como cronológicamente. El que hemos excavado es un antiguo barrio de la alquería de Lanteira, situado sobre una pequeña loma justo por encima de la acequia madre del sistema de riego del río del Barrio. Está entre la propia localidad de Lanteira y la de Alquife. Justo al Norte, a unos 300 m, se localiza otro barrio sobre otra pequeña loma. Inicialmente la cronología asignada con el material recogido en super-

ficie lo situaba justo desde el momento de la conquista árabe-bereber del siglo VIII hasta final del siglo XII. Arqueológicamente habíamos podido documentar un abandono de estos dos asentamientos en favor de otro nuevo barrio que se creó en torno al Castillo del Barrio, construido en el siglo XII, y que fue conocido propiamente como el Barrio del Jarafí hasta su abandono tras la expulsión de los moriscos en 1568-71. Este proceso de concentración fue confirmado también a través de un documento de carácter fiscal del siglo XVI que afirmaba que el Jarafí eran antiguamente Benizahala y Benahaque. Esto ponía de relieve la presencia de dos topónimos árabes de carácter tribal que hacían de este espacio especialmente interesante, sobre todo para poder documentar los procesos de implantación de la nueva población y su relación con los espacios de regadío y las modificaciones en los sistemas productivos y el paisaje. Además, en el yacimiento se localizó un silo que estaba abierto gracias a la acción de un vecino que lo había encontrado hace años mientras araba con sus mulos (Martín Civantos, 2007: 73-77, 662-663).

Todas estas circunstancias hacían presagiar unos interesantes resultados para los objetivos del proyecto MEMOLA, que pretendía estudiar la relación histórica del ser humano con el medio natural en la creación de agrosistemas, con una especial atención a los usos del agua y el manejo de los suelos [2]. Se trata de un proyecto inter y transdisciplinar en el que participan distintos especialistas de diez instituciones socias y cinco países. Para ello escogimos cuatro áreas distintas a lo largo de la ribera septentrional del Mediterráneo. Una de ellas era Sierra Nevada, en el Sureste de la Península Ibérica.

Efectivamente, la excavación ha dado unos resultados realmente magníficos en muchos sentidos, aunque no exentos de dificultades debidas, sobre todo, a las importantes transformaciones en la topografía producidas tras el abandono del barrio, entre finales del siglo XII y principios del XIII. Entonces, toda esta área se convirtió en un espacio de cultivo de regadío eventual, para lo que fue necesario aterrizar la ladera, modificando significativamente el terreno. Esto ha hecho que la visibilidad arqueológica sea especialmente complicada, a lo que hay que sumarle la inutilidad de la prospección geofísica realizada previamente, probablemente por las condiciones de suelo. En cualquier caso,

la apertura de siete grandes sondeos y dos trincheras nos ha permitido poder localizar numerosos restos que amplían un poco la cronología, sobre todo por la presencia de un asentamiento rural anterior a la llegada de árabes y beréberes y que arranca en el siglo VII.

De forma muy resumida puede decirse que, además de diversas estructuras domésticas muy arrasadas pertenecientes al menos a cuatro fases, hemos documentado dos cementerios y diversas estructuras productivas y de almacenaje y una mezquita. Los cementerios pertenecen a dos fases distintas y están separados: uno se desarrolla entre los siglos VII al IX y el otro entre el XI y XII. Entre las estructuras productivas encontramos hornos de fundición metálica y de cerámica. La zona de almacenaje está representada por un conjunto de silos de distintos tamaños y algunos tinajeros que servían para el anclaje de grandes contenedores cerámicos. Por último, una de las principales sorpresas ha sido la excavación de una pequeña mezquita rural que servía para el barrio y que no era siquiera la mezquita aljama o principal de la alquería (el pueblo) [3].

El planteamiento principal desde el inicio de la intervención en el yacimiento era documentar íntegramente el mismo de manera digital, especialmente la secuencia estratigráfica. De esta manera se ha podido gestionar tanto la parte gráfica (fotografía, fotogrametría 3D y 2D, plantas y secciones) como la documentación alfanumérica.

### 3. FUNDAMENTO METODOLÓGICO

Al inicio de este artículo hacíamos referencia a la naturaleza propia de la actividad arqueológica y la consecuente pérdida de información. Especialmente cuando los elementos que nos la proporcionan son los estratos que conforman el yacimiento. Algunas investigaciones han tratado de cuantificar el volumen de información perdida debido a una metodología parcial, omisión en el registro, carencia de medios de documentación digitales, etc. Tal es el caso de la ciudad de Guadix (Granada - España), donde se analizaron un total de 58 intervenciones correspondientes al periodo 1986 - 2009, mostrando unos resultados preocupantes (Ramírez Burgos y Martín Civantos, 2016).

La evolución de la metodología arqueológica ha sido, en este sentido, un camino enfocado a mejorar la

cantidad y calidad de los datos que tomamos sobre lo que vamos excavando. Por ello cada vez cobra más importancia la aplicación de nuevas tecnologías en la Arqueología. Un claro referente es el proyecto Çatalhöyük (Turquía) "3D-Digging at Çatalhöyük" (Forte, Dell'Unto, Issavi, Onsurez y Lercari, 2012), que tiene por objetivo reproducir de forma virtual el proceso de excavación arqueológica al completo usando tecnologías 3D (láser escáner, visores virtuales, modelado de imagen, etc). De este modo es posible hacer el proceso de excavación virtualmente reversible, reproduciendo de forma digital todas las fases del proceso de excavación. Esta es una idea que compartimos firmemente por las posibilidades que añade al proceso de investigación y continuo análisis de los resultados.

La aplicación de tecnologías 3D en la documentación y reconstrucción de espacios arquitectónicos, así como importantes elementos patrimoniales construidos, es una labor con un gran bagaje, pero no parece suceder así con el registro de las secuencias estratigráficas ligadas a excavaciones arqueológicas. Es en los últimos años, con las mejoras tecnológicas y la mayor facilidad de acceso a estas herramientas, cuando ha comenzado a ser una realidad factible acorde a la capacidad económica del sector. Así lo muestra también la interesante experiencia metodológica llevada a cabo en la intervención arqueológica de Lo Boligni (Alicante - España) en 2010 (Charquero Ballester y López Lillo, 2012).

### 4. WORKFLOW

El flujo de trabajo que presentamos se estructura en dos fases principales: el trabajo de campo, centrado en la captura de datos primarios; y una fase de trabajo en gabinete, centrada en el procesado de dichos datos para la obtención de resultados susceptibles de análisis que ayuden en el estudio histórico-arqueológico.

El elemento principal en este flujo de trabajo es la imagen digital, por lo que es necesario un protocolo de captura fotográfica en excavación orientado a la modelización 3D. El registro consta de una exhaustiva toma fotográfica de cada Unidad Estratigráfica (UE), que en nuestro caso es la unidad básica de documentación. Este es un sistema que se amolda perfectamente a las pautas de una excavación arqueológica con metodo-



logía estratigráfica. Una vez que tenemos en superficie una UE (o varias) completamente delimitada, procedemos a la documentación previa a su retirada en busca de la superficie de la UE inferior. El número de fotografías lo determinarán las propias características de dicha UE, como las dimensiones, tipología (relleno de matriz terrosa, derrumbe de materiales constructivos, muros, etc) y condicionantes ajenos como una iluminación cambiante a lo largo del día, partes de una misma UE documentadas en diferentes momentos y/o años, etc.

Para esta fase del trabajo hemos empleado una cámara Canon EOS 600D con un objetivo Sigma DC 17-50 2.8 EX HSM Nikon situado a una distancia focal fija de 17mm. Debido a la necesidad de documentar áreas extensas contamos con una pértiga extensible con la que alcanzar una altura de disparo de hasta 5,5 metros, y un kit de pantalla LCD y disparador remoto con el que asegurar el encuadre, optimizando con ello cada disparo.

Sería inconcebible implementar esta metodología sin contar con apoyo topográfico. A finales de la década de los ochenta del siglo pasado resurge la difusión de las técnicas topográficas debido a la comercialización de la estación total con distanciómetro coaxial (Ángas Pajas y Uribe Agudo, 2017: 100). La estación total permite registrar distancias y ángulos junto con el cálculo de las coordenadas de todos los puntos medidos. Ello nos permite georreferenciar el trabajo, aportar gran precisión al modelo 3D, conectar distintas UEs, relacionar las sucesivas campañas de excavación, etc.

Para llevar a cabo esta parte del trabajo se procedió a establecer en el entorno del yacimiento una red topográfica dentro de un sistema de coordenadas absolutas, en este caso ED50 [4]. Esta red nos permite mayor libertad para establecer la estación total, pudiendo desplazarnos por los distintos sondeos y áreas de la excavación. El equipo empleado para ello fue el modelo Leica Flexline TS02.

La toma de datos fotográfica y topográfica se conectan mediante el empleo de una serie de dianas, también llamadas puntos de control, que insertamos en la UE a documentar. Estas dianas quedan recogidas en las imágenes y posteriormente son medidas con la estación total asignándoles coordenadas conocidas, ello nos permite relacionar ambos trabajos.

Una vez que hemos documentado en campo una UE y hemos finalizado su excavación procedemos a la fase de trabajo en laboratorio.

El primer paso se basa en el empleo de *software Structure from Motion* (SfM) que permite producir modelos volumétricos a partir de imágenes 2D. El SfM es una técnica que tiene su origen en el área de la visión computarizada. Funciona bajo unos principios similares a los de la fotogrametría estereoscópica, ya que la geometría y el volumen vienen resueltos a partir de una serie de imágenes solapadas. La principal diferencia radica en que en el SfM la geometría, las posiciones de disparo de las fotografías y la orientación vienen resueltas automáticamente por el *software* (Westoby, Brasington, Glasser, Hambrey y Reynolds, 2012; Pereira Uzal, 2013). En la actualidad, la implementación del SfM supone un gran adelanto en la utilización de la fotogrametría dentro del flujo de trabajo de cada vez más proyectos arqueológicos.

Partiendo de un conjunto de imágenes con un alto grado de solape entre ellas, se procede al alineado y orientación de las fotografías y a la generación de una nube de puntos. Estas nubes de puntos iniciales no cuentan con gran densidad y son el resultado de lo que se conoce como ajuste Bundler. Según Pereira Uzal (2013), ello permite realizar la distribución espacial de los píxeles identificados en múltiples imágenes tomadas desde ángulos distintos. La detección de estos puntos, como hemos mencionado, se realizada de manera automática gracias al sistema de reconocimiento SIFT (Scale Invariant Feature Transform) (Westoby et al., 2012: 302).

La escasa definición de esta nube de puntos inicial hace necesario un proceso de densificación de la misma para generar una concentración mayor de vértices. En ocasiones podemos generar nubes con millones de puntos que nos permiten mayor definición de las superficies y una geometría más realista. Cada uno de estos vértices tiene asignado un rango en la escala RGB derivado de la información extraída del pixel correspondiente en las imágenes de origen (Pereira Uzal, 2013: 81)

El siguiente escalón en el procesamiento de los datos es la generación de una malla usando dicha nube densa. Este proceso se realiza gracias a la aplicación de un algoritmo que permite triangular los puntos y generar

una superficie TIN (Triangulated Irregular Network) en base a los mismos. La definición y precisión de esta malla viene derivada, en gran medida, por la densidad de la nube de puntos (Benavides López, Aranda Jiménez, Sánchez Romero, Alarcón García, Fernández Martín, Lozano Medina y Esquivel Guerrero, 2017: 498).

Una última fase del trabajo que debemos realizar en el *software* de procesado de imágenes y generación de modelos 3D [5] es la producción de una ortofoto en el sistema de coordenadas elegido. En este caso, el resultado de la fotogrametría 3D es un avance con respecto a la ya sobrepasada 2D pues está libre de cualquier error de perspectiva.

El otro pilar fundamental de este sistema completo de documentación es la integración de la información alfanumérica con la geométrica mediante el empleo de Sistemas de Información Geográfica (GIS) y bases de datos relacionales. Esto nos permite un registro más completo y complejo, pudiendo realizarse en gabinete el análisis en profundidad del yacimiento [6].

Los GIS operan en un entorno bidimensional, de ahí la necesidad de generar una ortofoto con sus propiedades geométricas que aproveche las posibilidades de estos programas para interactuar con información métrica, obteniendo medidas no tomadas durante el trabajo de campo. A pesar de que los GIS no operen con representaciones tridimensionales de manera dinámica, destacan por su capacidad de aunar información gráfica (tanto raster como vectorial) y alfanumérica gracias a un complejo Sistema de Gestión de Bases de Datos. El GIS como herramienta en Arqueología ayuda a manejar y procesar ingentes cantidades de datos, y la posibilidad de realizar análisis de relaciones espaciales entre unidades estratigráficas, distribuciones espacial por tipologías y cronologías, etc. (Valenti, 1991).

## 5. RESULTADOS

Hemos constatado que este tipo de técnicas de registro permiten la reducción del tiempo empleado en la toma de datos a gran escala en comparación con el tiempo destinado a estas tareas utilizando técnicas tradicionales. Todo ese tiempo puede ser dedicado a labores de excavación propiamente dichas. Un ejemplo de ello es el caso de la necrópolis de Panoria (Granada - España) que constató un ahorro enorme de tiempo. En

ese caso, para el registro mediante métodos tradicionales fueron necesarias 34,5 horas frente a las 3 horas que necesitaron para su documentación con el empleo de estas técnicas y el apoyo de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) (Benavides et al., 2017)

Un resultado de esta metodología es la capacidad de gestionar y analizar cuantiosos datos. En el caso de la intervención del yacimiento "Pago del Jarafí" contabilizamos 620 UEs (positivas y negativas), 43 individuos procedentes de dos necrópolis, 124 estructuras y 67 complejos estructurales [7]. De todos ellos hay información alfanumérica, procedente de las fichas rellenas en campo, y gráfica, tanto raster como vectorial.

Mediante la documentación digital y la metodología empleada, tenemos la posibilidad de realizar infinidad de plantas, alzados y secciones. La documentación planimétrica es fundamental, pues es el medio para expresar conjuntamente la representación visual y los datos dimensionales en un soporte bidimensional (Almagro Gorbea, 2004: 28). Es por eso que resulta muy interesante disponer de una herramienta que nos permita extraer planimetrías y secciones de cualquier parte de la intervención sin la necesidad de haberlo previsto en campo.

Otro de los resultados que hemos constatado son las enormes posibilidades que estas técnicas tienen para tareas de difusión. Normalmente limitamos la documentación científica a nuestro sector profesional, por lo que empleamos un lenguaje codificado que es complejo de entender por el público no iniciado en ellas. Los renderizados de modelos tridimensionales de las diferentes unidades estratigráficas tienen un gran valor informativo y divulgativo, más aún si llevamos a cabo reconstrucciones volumétricas de la secuencia estratigráfica excavada.

Las nuevas formas de de comunicación que han surgido desde finales del siglo XX suponen efectivas herramientas para avanzar en la difusión y comunicación de la Arqueología (Delgado Anés, Romero Pellitero y Richardson, 2017). En el proyecto MEMOLA hemos procurado coherentes con esta idea y hacer partícipes de nuestras actividades. Una de las vías empleadas para ello ha sido Sketchfab, una red social especializada en modelos 3D, donde hemos compartido numerosos procedentes del yacimiento del Pago del Jarafí (Delgado Anés, 2017: 336-337).

## 6. DISCUSIÓN

La aplicación de una metodología de registro íntegro de cada estrato es una realidad, pero son varias las cuestiones que se plantean. El volumen de datos que se generan en cada intervención es elevado, más aún si trabajamos con altas resoluciones, por lo que almacenar y gestionar toda esa información supone un reto tecnológico y físico. Esto nos obliga a invertir en *hardware* para almacenar todas las imágenes y modelos 3D, pero también a pensar en soluciones tecnológicas para resolver problemas de obsolescencia de los formatos usados.

Las administraciones reguladoras de la actividad arqueológica suelen ir bastante atrasadas en la asimilación de nuevas herramientas, pero una posible solución pasaría por una mayor implicación de tales administraciones en la creación de protocolos y estándares para el almacenamiento y pervivencia de los datos. Mientras tanto, perdemos la posibilidad de aportar mayor transparencia a nuestras investigaciones, ya que la opción de que otros investigadores puedan acceder a nuestros datos en bruto les permitiría reconstruir virtualmente el proceso de excavación y analizar nuestra interpretación.

Otro de los retos a los que se enfrenta esta metodología es a la pérdida de posibilidades de análisis al trabajar con soportes bidimensionales. Entendemos que la realidad tridimensional de la estratigráfica debe tener su reflejo en una documentación acorde a ello. Actualmente los GIS son una herramienta muy potente, pero están muy limitados al trabajo con geometrías bidimensionales. La aparición de los sistemas de diseño tridimensional BIM (Building Information Modeling), puede ayudar a resolver este problema. Su origen está ligado a la Ingeniería y la Arquitectura, pero ya se han realizado algunos trabajos en el área del patrimonio arquitectónico emergente, enmarcado en lo que se ha denominado HBIM (Historic Building Information Modelling). El uso de estas herramientas en el contexto de la secuencia estratigráfica sigue presentado limitaciones que seguramente no tardan mucho tiempo en resolverse (Katsianis, Tshipidis, Kotsakis y Kousoulakou, 2007; Benavides López, 2017).

## 7. CONCLUSIONES

La metodología aplicada en el caso del Pago del Jarafí es el resultado de una experimentación y un aprendizaje que arranca al menos desde el año 2009. Esto nos ha permitido ir mejorando los flujos de trabajo, la eficiencia desde el punto de vista de los tiempos y el esfuerzo empleado, tanto en campo como en laboratorio, y la precisión y aplicabilidad de los datos. Hemos querido destacar en primer lugar que se trata de un método de tratamiento integral de la información arqueológica procedente de las excavaciones, que incluye tanto la documentación gráfica como la alfanumérica. Esto incluye, obviamente, la georreferenciación de todos los elementos que tienen una dimensión espacial. A lo largo del proceso se realiza una documentación tridimensional que permite pasar posteriormente a formatos bidimensionales para su manejo en una plataforma GIS. De esta forma conseguimos obtener un modelo tridimensional de toda la secuencia con sus texturas originales y un alto grado de precisión que tiene amplias aplicaciones no solo desde el punto de vista científico y administrativo, sino también divulgativo.

A lo largo de estos años, el método ha probado ser riguroso y eficaz y replicable en distintos contextos siempre y cuando se siga una metodología de excavación estratigráfica. Como ya hemos dicho, la unidad mínima de documentación es la UE (aunque también se podría llegar a un nivel de detalle mayor, hasta el objeto, si se considera necesario y se dan las condiciones). Esto también obliga a adaptar en parte la forma de trabajar en campo, teniendo en cuenta la forma en la que se van a documentar las UEs para poner especial cuidado en tenerlas enteras a la vista durante la excavación, evitar seccionarlas o cualquier otra operación que pueda complicar el tratamiento posterior. Pero sobre todo, esta metodología permite a los arqueólogos concebir cuatridimensionalmente el depósito y el proceso de excavación y superar el paradigma bidimensional predominante desde el siglo XIX. De esta forma no solo son mucho más fáciles de gestionar y comprender las áreas abiertas, sino que los perfiles dejan de tener importancia, puesto que se pueden realizar secciones allá donde se quiera y con la dirección que se quiera. La representación de estos perfiles, como la de las plan-



tas, pasa a ser solamente un problema de formato de impresión, de salida, que haga más comprensible la propia secuencia y sirva para demostrarla.

Del mismo modo, permite integrar también las estructuras edilicias emergentes dentro de la misma secuencia y el mismo sistema de documentación de forma más fácil y coherente. Pero esta cuestión plantea el problema de los límites de la propia Arqueología de la Arquitectura, que trabaja con paramentos, y los nuevos usos de los BIM a los que nos hemos referido.

Sin duda, el flujo de trabajo creado permite ahorrar una considerable cantidad de tiempo en campo, al mismo tiempo que se pueden documentar todas las UES con el mismo grado de detalle y precisión. De esta forma, no es necesario sacrificar o ahorrar tiempo durante el proceso de excavación en parte del depósito. Toda la secuencia, todas las unidades, son tratadas de la misma forma y podemos tener una lectura completa. Esto es especialmente útil para las intervenciones de urgencia o de apoyo a la restauración, muchas veces condicionadas por la falta de medios y de tiempo durante la excavación. Es cierto que a posteriori el trabajo de laboratorio requiere de una inversión importante, pero a medida que la toma de datos en campo se hace más precisa y la tecnología permite un procesado más rápido de las imágenes, estos tiempos y el esfuerzo correspondiente se acortan.

Por último, queremos resaltar el hecho de que, aunque este método vaya más allá de una representación tridimensional estética, su uso tiene un enorme potencial desde el punto de vista didáctico y divulgativo, ya que permite una mejor comprensión del depósito y de la interpretación de la secuencia y, por tanto, de la interpretación histórica y de la propia Arqueología. En este sentido, este tipo de aplicaciones permite una mejor socialización del conocimiento científico y un mayor impacto de nuestra disciplina desde el punto de vista social, lo cual debería suponer a su vez una mayor y mejor protección y conservación del patrimonio, sobre todo del patrimonio no monumental ni artístico, cuyos valores residen en su capacidad de generar conocimiento histórico.

Fig. 1 - Plano de ubicación del yacimiento "Pago del Jarafí" (Lanteira – Granada).

Fig. 2 - Captura fotografica de uno de los silos reutilizados posteriormente como enterramiento (L. Delgado Anés).

Fig. 3 - Levantamiento topográfico durante la campaña de 2017 (L. Delgado Anés).

Fig. 4 - Flujo de trabajo de la metodología empleada.

Fig. 5 - GIS.

Fig. 6 - Sección derivada del modelado 3D.

Fig. 7 - Renderizado de la reconstrucción volumétrica de la secuencia estratigráfica del sondeo 50.000 y modelo 3D de las fases de una estructura del sondeo 30000, disponible en Sketchfab.

## NOTAS

aún estamos trabajando en ellos.

[1] Esta metodología de registro digital ha sido desarrollada y perfeccionada con el asesoramiento de Maurizio Toscano, especialista en gestión digital de la información por Eachtra Archaeological Projects Ltd.

[2] Proyecto MEMOLA: "MEditeranean MOuntainous LAndscapes: an historical approach to cultural landscapes based on traditional agrosystems", financiación del Séptimo Programa Marco de la Unión Europea (FP7/2014-2017) en virtud del acuerdo de subvención n.º 613265.

[3] Información correspondiente a las Memorias e Informes preliminares de las intervenciones de 2014, 2015 y 2016; actualmente en prensa. Martín Civantos et al.

[4] El sistema ED50 ha estado vigente en España desde 1970 hasta 2007, año en el que en base al Real Decreto 1071/2007 se adopta el sistema ETRS89, dándose un periodo transitorio de adaptación que finalizó en 2015. Nuestro equipo ha continuado trabajando en dicho sistema para mantener una coherencia con los trabajos realizados en estos años, pero estamos en proceso de actualizar nuestras bases de datos al nuevo sistema de referencia.

[5] El software empleado es Agisoft PhotoScan, operado bajo licencia universitaria.

[6] La geodatabase relacional en uso en la excavación arqueológica de "Pago del Jarafí" ha sido desarrollada por Maurizio Toscano, responsable de la gestión informática de los datos arqueológicos del proyecto MEMOLA.

[7] En estos cálculos no se incluyen los datos referentes a 2017, ya que

## BIBLIOGRAFÍA

Almagro Gorbea, A. (2004). Levantamiento arquitectónico. Granada: Universidad de Granada

Angás Pajas, J. & Uribe Agudo, P. (2017). Técnicas geomáticas para la documentación e investigación del patrimonio cultural. In M. Martín-Bueno & J. C. Saénz Preciado (Eds.), *Topografía aplicada a la arqueología* (pp. 99-125). Zaragoza: Pressas de la Universidad de Zaragoza.

Calonge Maestro, E. (2011). Nuevas tecnologías y registro gráfico. Un modo de representación y análisis del registro arqueológico de la Alcazaba de Guadix (Granada). Trabajo de Fin de Máster. Granada: Inédito.

Charquero Ballester, A.M., & López Lillo, J.A. (2012). Registro tridimensional acumulativo de la secuencia estratigráfica. *Fotogrametría y SIG en la intervención arqueológica de lo Boligni (Alacant)*. *Virtual Archaeology Review*, 3(5), 81-88.

Benavides López, J., Aranda Jiménez, G., Sánchez Romero, M., Alarcón García, E., Fernández Martín, S., Lozano Medina, A., & Esquivel Guerrero, J. (2016). 3D modelling in archaeology: The application of Structure from Motion methods to the study of the megalithic necropolis of Panoria (Granada, Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 10, 495-506.

Benavides López, J. (2017). Nuevas tecnologías aplicadas a la documentación del patrimonio: La alcazaba de Guadix - el castillo de Piñar (Doctoral dissertation). University of Granada, Spain.

Carandini, A. (1997). *Historias en la tierra. Manual de excavación arqueológica*. Barcelona. Crítica

Delgado Anés, L. (2017). Gestión, comunicación y participación social en los paisajes culturales de Andalucía. El caso del proyecto MEMOLA (Doctoral dissertation). University of Granada, Spain. [http://hdl.handle.net/10481/47164]

Delgado Anés, L., Romero Pellitero, P. & Richardson, L.J., Virtual archaeology through social networks. The case of the I Public Archaeology Twitter Conference. In III Congreso de la Sociedad Internacional. Humanidades Digitales Hispánicas. Sociedades, políticas, saberes, Málaga.

Douglass, M., Lin, S., & Chodoronek, M. (2015). The application of 3D photogrammetry for in-field documentation of archaeological features. *Advances in Archaeological Practice*, 3(2), 136-152.

Forte, M., Dell'Unto, N., Issavi, J., Onsurez, L., & Lercari, N. (2012). 3D archaeology at Çatalhöyük. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 1(3), 351-378.

Katsianis, M., Tshipidis, S., Kotsakis, K., & Kousoulakou, A. (2008). A 3D digital workflow for archaeological intra-site research using GIS. *Journal of Archaeological Science*, 35(3), 655-667.

Martín Civantos, J.M. (2007). *Planiamiento y territorio Medieval en el Zenete* (Granada). Granada: Universidad de Granada.

Martín Civantos, J.M., Ramírez Burgos, M., Romero Pellitero, P., Bonet García, M.T., Pérez Fernández, A., Fernández Moles, R. *Intervención Arqueológica Puntual en Lanteira* (Proyecto MEMOLA). Granada. In *Anuario Arqueológico de Andalucía*. 2014. En prensa.

Martín Civantos, J.M., Romero Pellitero, P., Ramírez Burgos, M., Bonet García, M.T. & Pérez Fernández,

A. *Memoria final de II Campaña de excavación arqueológica en el Pago del Jarafí* (Lanteira, Granada) incluido en el Proyecto General de Investigación: Estudio de los paisajes históricos de Sierra Nevada. In *Anuario Arqueológico de Andalucía*. 2015. En prensa

Martín Civantos, J.M., Román Punzón, J.M., Corselli, R., Rouco Collazo, J., Romero Pellitero, P. & Bonet García, M.T. *Pgl Estudio de los paisajes históricos de Sierra Nevada: II fase. Informe preliminar III Campaña excavación arqueológica en el Pago del Jarafí* (Lanteira, Granada). In *Anuario Arqueológico de Andalucía*. 2016. En prensa

Martín Civantos, J.M., & Ramírez Burgos, M. (2016). La alcazaba de Guadix (Granada). Excavación dentro del proyecto de parque arqueológico. In CODOLI (Ed.), *El patrimonio arqueológico: de las trincheras a la sociedad*. La Granada invisible (pp. 179-184). Granada: CODOLI de Granada, Almería y Jaén.

Pereira Uzal, J. (2013). *Modelado 3D en patrimonio cultural por técnicas de structure from motion*. Ph Investigación, 1, 77-87.

Ramírez Burgos, M., & Martín Civantos, J.M. (2016). ¿Cuánto perdemos en las intervenciones urbanas? Homogeneización, análisis y cuantificación de la documentación arqueológica de Guadix (Granada). *Arqueología y Territorio Medieval*, 23, 183-203.

Rodríguez Navarro, P. (2012). *Alcune riflessioni sul "Disegno con la fotografia digitale"*. *DisegnareCon*, 6(12), 1-7.

Valenti, M. (2000). *La piattaforma GIS dello scavo. Filosofia di lavoro e provocazioni, modello dei dati e "soluzione GIS"*. *Archeologia e Cal-*

colatori, 11, 93-109.

Westoby, M.J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300-314.