



# ARCHIVO DEL LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO

LABORATORY FOR THE GEOMETRIC DOCUMENTATION OF  
HERITAGE'S ARCHIVE

Sección de artículos / Papers section


# 60

<b>Información general / General information</b>		
TÍTULO:	Técnicas y criterios para la documentación geométrica de la excavación del dolmen «Alto de la Huesera» (Álava, España) y su reconstrucción virtual / <i>Techniques and criteria for the geometric documentation of the excavation of the dolmen 'Alto de la Huesera' (Álava, Spain) and its virtual reconstruction</i>	:TITLE
AUTORES:	Javier FERNÁNDEZ ERASO José Antonio MUJICA ALUSTIZA José Manuel VALLE MELÓN Álvaro RODRÍGUEZ MIRANDA	:AUTORS
FECHA:	Junio 2020 / June 2020	:DATE
NÚMERO:	LDGP_art_060	:NUMBER
IDIOMA:	español e inglés / <i>English and Spanish</i>	:LANGUAGE

<b>Resumen</b>	
TÍTULO:	Técnicas y criterios para la documentación geométrica de la excavación del dolmen «Alto de la Huesera» (Álava, España) y su reconstrucción virtual
RESUMEN:	<p>El dolmen del “Alto de la Huesera” es una de las nueve estructuras funerarias en la cara sur de la sierra de Cantabria. Está localizado en el término municipal de Laguardia (Álava, España). Fue identificada en 1947 por Domingo Fernández Medrano, quien lo excavó al año siguiente. Cuando fue descubierto, sólo eran visibles las partes superiores de las losas verticales, con la cubierta caía en el interior de tal forma que se creyó que no existía una cubierta en sí, sino que la cámara estaba construida por ortostatos inclinados que se unían en la parte superior. Esta forma de aparente pirámide y el hecho de no localizarse ninguna traza del corredor hizo pensar que se trataba del único dolmen del área que carecía de corredor.</p> <p>Entre los años 2010 y 2013, una nueva serie de trabajos descubrieron el corredor y completaron las excavaciones de la cámara y el túmulo. Posteriormente, el monumento fue restaurado y, actualmente, muestra un aspecto idealizado de cómo pudo haber sido en origen.</p> <p>A la luz de todo lo anterior, el presente artículo trata aspectos relativos a la documentación geométrica, la representación virtual del aspecto original del monumento y la preservación y difusión de la información.</p>
DESCRIPTORES NATURALES:	dolmen, documentación geométrica, reconstrucción virtual
DESCRIPTORES CONTROLADOS:	(Procedentes del Tesauro UNESCO [ <a href="http://databases.unesco.org/thessp/">http://databases.unesco.org/thessp/</a> ]) Patrimonio Cultural, Restauración, Prehistoria, Fotogrametría, Infografía

<b>Abstract</b>	
TITLE:	Techniques and criteria for the geometric documentation of the excavation of the dolmen ‘Alto de la Huesera’ (Álava, Spain) and its virtual reconstruction
ABSTRACT:	<p>The dolmen of ‘Alto de la Huesera’ is one of the nine funerary constructions on the southern face of the Cantabrian mountain range. It is located in the municipality of Laguardia (Álava, Spain). It was identified in 1947 by Domingo Fernández Medrano, who excavated it the following year. When discovered, only the top of the vertical slabs of the chamber were visible, with the cover slab fallen inside, in such a way that it prompted the idea that it lacked a cover slab, in other words, that the chamber was built with leaning orthostates which joined at the upper part. This apparent pyramid-shape and the fact of not being able to locate any trace of the passage made people believe that it was the only dolmen of this area without one.</p> <p>Between 2010 and 2013 a new series of works discovered the missing passage and completed the excavation of the chamber and the tumulus. Afterwards, the monument was restored and, at present, it shows an idealized view of how it could have been originally.</p> <p>In the light of the foregoing, the paper goes over the aspects concerning the geometric documentation, the virtual representation of the original state of the monument and the preservation and dissemination of the information.</p>
NATURAL KEYWORDS:	dolmen, geometric documentation, virtual reconstruction
CONTROLLED KEYWORDS:	(From the UNESCO’s thesaurus [ <a href="http://databases.unesco.org/thesaurus/">http://databases.unesco.org/thesaurus/</a> ]) Cultural Heritage, Restoration, Prehistory, Photogrammetry, Computer Graphics

<b>Publicación / Publication</b>		
Comunicación en un congreso / <i>Lecture in a congress</i>		
NOMBRE:	<b>XVIII UISPP World Congress</b>	:NAME
LUGAR:	Paris (France)	:PLACE
FECHA:	4-9 June 2018	:DATE
ACTAS:	Florian Cousseau & Lu Laporte (eds.). 2020. <i>Pre and Protohistoric Stone Architectures. Comparisons of the social and technical contexts associates to their buildings. Proceedings of the XVIII UISPP World Congress (4-9 June 2018, Paris, France), Volume 1, Session XXXII-3.</i> Archaeopress. ISBN 978-1-78969-545-8, 978-1-78969-546-5 (e-Pdf)	:PROCEEDINGS
FECHA:	2020	:DATE
WEB:	<a href="http://www.archaeopress.com/ArchaeopressShop/Public/displayProductDetail.asp?id=%7B9BC32AF1-1811-4FD6-A8E3-3EC45175A9DE%7D">http://www.archaeopress.com/ArchaeopressShop/Public/displayProductDetail.asp?id=%7B9BC32AF1-1811-4FD6-A8E3-3EC45175A9DE%7D</a>	:WEB
NOTAS:		:NOTES
Artículo en revista / <i>Journal paper</i>		
NOMBRE:		:NAME
EDITOR:		:EDITOR
NÚMERO:		:NUMBER
FECHA:		:DATE
ISBN:		:ISBN
ISSN:		:ISSN
WEB:		:WEB
PÁGINAS:		:PAGES
NOTAS:		:NOTES
Otro / <i>Other</i>		
DETALLES:		:DETAILS
DOI:		:DOI

<b>Derechos / Rights</b>		
AUTORES:	<p>Está permitido citar y extraer el texto, siempre que la fuente sea claramente identificada. / <i>Permission is granted to quote and take excerpts from this text, provided that the source of such material is fully acknowledged.</i></p> 	:AUTORS
EDITOR:	<p>Tras una consulta por correo electrónico la editorial dio su consentimiento en difundir el artículo a través del repositorio institucional / <i>After a request done by e-mail, the publisher allowed the dissemination of this text through the authors' institutional repository.</i></p>	:PUBLISHER
OTROS:		:OTHERS

<b>Renuncia de responsabilidad / Disclaimer</b>		
DESCARGO:	<p>El uso de la información contenida en este documento se hará bajo la completa responsabilidad del usuario. / <i>The use of the information contained in this document will be under the exclusive responsibility of the user.</i></p>	:DISCLAIMER

Estructura / Framework		
ID PERMANENTE:	<a href="http://hdl.handle.net/10810/44083">http://hdl.handle.net/10810/44083</a>	:PERMANENT ID
ESTRUCTURA:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Idgp_art060_StoneArchitectures.pdf</b>: este documento / <a href="#">this document</a>.</li> </ul>	:FRAMEWORK

Cita completa recomendada / Recommended full citation		
CITA:	<p>Fernández-Eraso, J., Mujika-Alustiza, J.A., Valle Melón, J.M., &amp; Rodríguez Miranda, Á. 2020. <i>Techniques and criteria for the geometric documentation of the excavation of the dolmen 'Alto de la Huesera' (Álava, Spain) and its virtual reconstruction</i>. In Florian Cousseau &amp; Lu Laporte (eds.) "Pre and Protohistoric Stone Architectures. Comparisons of the social and technical contexts associates to their buildings. Proceedings of the XVIII UISPP World Congress (4-9 June 2018, Paris, France), Volume 1, Session XXXII-3". Archaeopress. ISBN 978-1-78969-545-8, 978-1-78969-546-5 (e-Pdf), Chapter 5, pp. 74-85.</p>	:CITATION

# Pre and Protohistoric Stone Architectures

## Comparisons of the social and technical contexts associated to their building

Proceedings of the XVIII UISPP World Congress  
(4-9 June 2018, Paris, France)

Volume 1

Session XXXII-3

edited by

Florian Cousseau and Luc Laporte



ARCHAEOPRESS PUBLISHING LTD  
Summertown Pavilion  
18-24 Middle Way  
Summertown  
Oxford OX2 7LG

[www.archaeopress.com](http://www.archaeopress.com)

ISBN 978-1-78969-545-8  
ISBN 978-1-78969-546-5 (e-Pdf)

© Archaeopress, UISPP and authors 2020

Cover design: Eva Gutscher

All rights reserved. No part of this book may be reproduced, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying or otherwise, without the prior written permission of the copyright owners.

Printed in England by Severn, Gloucester

This book is available direct from Archaeopress or from our website [www.archaeopress.com](http://www.archaeopress.com)

UISPP PROCEEDINGS SERIES VOLUME 1 – Pre and Protohistoric Stone Architectures: Comparisons of the social and technical contexts associated to their building

UISPP XVIII World Congress 2018

(4-9 Juin 2018, Paris)

Session XXXII-3

VOLUME EDITORS: Florian Cousseau and Luc Laporte

SERIES EDITOR: The board of UISPP

SERIES PROPERTY: UISPP – International Union of Prehistoric and Protohistoric Sciences

© 2020, UISPP and authors

KEY-WORDS IN THIS VOLUME: prehistory, protohistory, architectures, archaeology, building, technology, 3d tools

UISPP PROCEEDINGS SERIES is a printed on demand and an open access publication, edited by UISPP through Archaeopress

BOARD OF UISPP: François Djindjian (President), Marta Arzarello (Secretary-General), Apostolos Sarris (Treasurer), Abdulaye Camara (Vice President), Erika Robrahn Gonzalez (Vice President). The Executive Committee of UISPP also includes the Presidents of all the international scientific commissions ([www.uispp.org](http://www.uispp.org)).

BOARD OF THE XVIII UISPP CONGRESS: François Djindjian, François Giligny, Laurent Costa, Pascal Depaepe, Katherine Gruel, Lioudmila Iakovleva, Anne-Marie Moigne, Sandrine Robert



## Chapter 5

### Techniques and criteria for the geometric documentation of the excavation of the dolmen ‘Alto de la Huesera’ (Álava, Spain) and its virtual reconstruction

### Técnicas y criterios para la documentación geométrica de la excavación del dolmen « Alto de la Huesera » (Álava, España) y su reconstrucción virtual

Javier Fernández-Eraso, José A. Mujika-Alustiza,  
José M. Valle-Melón and Álvaro Rodríguez-Miranda

#### 1. Introduction: the dolmen of ‘Alto de la Huesera’ in context

This dolmen is one of the nine funerary constructions on the southern face of the Cantabrian mountain range (Fernández Eraso and Mujika-Alustiza 2013). It is located in the municipality of Laguardia (Álava, Spain) with coordinates (UTM 30N- ETRS89) X: 535577, Y: 4713108.

It was identified in 1947 by Domingo Fernández Medrano, who excavated it the following year. When discovered, only the top of the vertical slabs of the chamber were visible, with the cover slab fallen inside, in such a way that it prompted the idea that it lacked a cover slab, in other words, that the chamber was built with leaning orthostates which joined at the upper part. Consequently, the work done during that first year focused on the chamber, digging down to a layer with large stones. This apparent pyramid-shape and the fact of not being able to locate any trace of the passage made people believe that it was the only dolmen of this area without one.

Between 2010 and 2013 a new series of works, directed by the professors Mujika-Alustiza and Fernández-Eraso (from the University of the Basque Country UPV/EHU) discovered the missing passage and completed the excavation of the chamber and the tumulus (Fernández Eraso and Mujika-Alustiza 2012, 2014; Fernández Eraso *et al.* 2015). Afterwards, the monument was restored and, at present, it shows an idealized view of how it could have been originally.

The dolmen was built with local sandstone. In the nearby region, there are many natural terraces of this kind of rock, some of them near the surface: there was thus no need to transport the material from far away

#### 1. Introducción: el dolmen del « Alto de la Huesera » en contexto

Se trata de una de las nueve arquitecturas funerarias que se conservan en la vertiente sur, al pie, de la Sierra de Cantabria (Fernández Eraso & Mujika-Alustiza 2013). Se emplaza en el término municipal de Laguardia (Álava) y sus coordenadas son X: 535577, Y: 4713108 (UTM 30N- ETRS89).

Fue descubierto en 1947 por Domingo Fernández Medrano y excavado por él al año siguiente. En el momento de su descubrimiento solamente se podían ver las partes superiores de los ortostatos que conformaban la cámara y la losa de cubierta caída en su interior. De esta manera daba la impresión de que la cámara dolménica carecía de cubierta y se formaba por la aproximación de los ortostatos que apoyaban en su parte más elevada. Por esta razón el trabajo de esta primera campaña se centró en la cámara, excavando hasta un nivel formado por grandes piedras. Este aspecto, casi piramidal, unido a los intentos vanos de localizar un corredor hicieron creer que se trataba del único dolmen de la estación megalítica de Rioja Alavesa que carecía del mismo.

Entre 2010 y 2013, una nueva serie de excavaciones, dirigidas por los profesores Mujika-Alustiza y Fernández-Eraso (de la Universidad del País Vasco UPV/EHU) dieron como resultado el descubrimiento del corredor faltante y completaron la excavación de la cámara y el túmulo (Fernández Eraso & Mujika-Alustiza 2012, 2014; Fernández Eraso *et al.* 2015). Posteriormente, el monumento fue restaurado y, en la actualidad, muestra un aspecto idealizado de cómo pudo haber sido originalmente.

El dolmen está construido con piedra arenisca local. En esta zona existen bancales de arenisca algunos a escasa profundidad, de manera que fueron levantados sin necesidad de ningún acarreo de piedras de lugares





(Martínez Torres *et al.* 2014). Moreover, we suspect that the burial mound was coated with white limestone rocks brought from the Cantabrian mountain range, three kilometers away from the site.

The chamber was built with six orthostates. For its part, the passage would have had nineteen orthostates of varying sizes, two of which at least are missing. The part closest to the chamber was covered and the rest limited an open cobbled aisle, like a sort of atrium. The total length of the passage is eight meters and the circle-shaped tumulus has a diameter of twenty-four.

Human remains were found both into the inner part of the chamber and the closest part of the passage. A total of 130 buried individuals were identified, of both sexes and various ages.

Grave goods were scarce. Lithic artefacts comprise a rough trapeze, around ten bifacial arrowheads of varied shapes (foliate, tanged, with small appendixes), six serrated blades with luster, a scraper and a polished axe made of ophite. The metal artifacts include a graver and two arrowheads with stem and flaps, all of them in bronze, and a plate in gold tube-shaped bended. Pottery remains were also scarce, a few sherds, some of them decorated with incisions or fingerprints, and the rest just plain. The most significant discovery are eighteen fragments of beaker pottery (style 'Ciempozuelos') that could have been part of seven vases (Fernández Eraso *et al.* 2015).

The most abundant deposits were the ones related with personal adornment, among which, 34 beads (32 of stone with 18 of calcite, 3 of a greenish stone, one of fossil coral, 4 of lignite, one of bone and one in *Nassa*) of various shapes including disks, truncated double-cones and barrels. Furthermore, over two hundred rings made of bone were also recovered.

In the last section of the open part of the passage an anthropomorphic stele was found (Fernández Eraso *et al.* 2016). It depicts a hand with a halberd and two knives by the shoulder, all engraved by means of contiguous points made with a chisel.

Twenty radiocarbon dates were done. The results are summarized in the following table (Table 1) and figure (Figure 1). The dates were done on human remains found during the first excavations (in 1948) and from samples collected during the subsequent fieldworks. Between

alejados (Martínez Torres *et al.* 2014). El túmulo debió de estar cubierto por una coraza de piedras calizas, de color blanco, que fueron acarreados desde la Sierra de Cantabria distante unos tres kilómetros del dolmen.

La cámara está formada por seis ortostatos y el corredor debió tener 19, faltaban al menos dos, de tamaños diferentes, de manera que una parte estuvo adintelada y la otra formaba un corredor intratumular de escasa altura pero que delimitaba un espacio a modo de atrio. Su longitud total es de ocho metros. El túmulo, de forma circular, muestra un diámetro de 24 metros.

Tanto en el interior de la cámara, como en la parte del corredor más próxima a la cámara, se localizaron restos humanos. El total fue de 130 individuos de ambos sexos y de todas las edades. El ritual practicado fue el de inhumación.

El ajuar recuperado tanto del interior de la cámara como del túmulo no es muy abundante. En cuanto al material lítico destaca un trapecio de retoque abrupto, una decena de puntas de retoques planos bifaciales de diferente morfología (ojivas foliáceas, con pequeños apéndices, de pedúnculo y aletas.), seis laminas dentadas con lustre, un raspador y un hacha pulimentada de ofita. En metal se recuperaron dos puntas de flecha con pedúnculo y aletas y un punzón, todos de bronce, y una placa de oro doblada a modo de tubo. El ajuar cerámico es muy pobre y se compone de fragmentos lisos o decorados con impresiones de instrumento o dígito-ungulaciones. Lo más destacable es la presencia de 18 fragmentos de cerámicas campaniforme, de tipo ciempozuelos, que pueden corresponderse con siete recipientes (Fernández-Eraso *et al.* 2015).

Los elementos más abundantes, sin duda, son los de adorno personal. Destacan 34 cuentas de las que 32 son de piedra, de ellas 18 en calcita, tres son piedras de color verde, una en coral fósil, cuatro de lignito, una en hueso y una en una *Nassa*. En cuanto a sus formas son discoideas, bitroncocónicas unidas por la base mayor, toneletes. Además se recuperaron más de un centenar de aretes en hueso.

Durante la excavación, al final del corredor intratumular, (descontextualizada sobre el túmulo) se localizó una estela antropomorfa en la que se puede ver una mano, grabada mediante un cincel a base de puntos contiguos, que sostiene una alabarda y a la altura del hombro dos puñales grabados de manera incisa (Fernández-Eraso *et al.* 2016).

De este conjunto funerario se pudieron realizar un total de veinte dataciones radiocarbónicas, que se recogen en el siguiente cuadro (Tabla 1) y figura (Figura 1). Las dataciones se realizaron sobre huesos humanos tomando muestras tanto de los excavados en la campaña de 1948

Sample	Context	Nature	BP	Cal BC 2σ	Laboratory	Year
AHU 14	Inside the dolmen	Human bone	3550±30	1950/1870,1840/1810,1800/1780	Beta,- 321417	1948
AHU 15	Inside the dolmen	Human bone	3850±30	2460/2200	Beta,- 321418	1948
AHU 11	Inside the dolmen	Human bone	4010±30	2580/2470	Beta,- 321414	1948
AHU 16	Inside the dolmen	Human bone	4050±30	2830/2820,2660/2650,2630/2490	Beta,- 321419	1948
AHU 12	Inside the dolmen	Human bone	4080±30	2850/2810,2740/2720,2700/2570,2520/2500	Beta,- 321415	1948
AHU 17	Inside the dolmen	Human bone	4100±30	2860/2810, 2760/2720,2700/2570,2510/2500	Beta,- 321420	1948
AHU 22	Inside the dolmen	Human bone	4230±30	2900/2865,2805/2760	Beta,- 391716	2014
AHU 8	Inside the dolmen	Human bone	4290±30	2920/2880	Beta,- 301226	2010
AHU 6	Inside the dolmen	Human bone	4300±30	2920/2880	Beta,- 301224	2010
AHU 13	Inside the dolmen	Human bone	4320±30	3010/2970, 2960/2890	Beta,- 321416	1948
AHU 3	Inside the dolmen	Human bone	4320±30	3010/2970, 2960/2890	Beta,- 301221	2010
AHU 5	Inside the dolmen	Human bone	4320±30	3010/2970, 2960/2890	Beta,- 301223	2010
AHU 2	Inside the dolmen	Human bone	4340±30	3020/2900	Beta,- 301220	2010
AHU 4	Inside the dolmen	Human bone	4350±30	3020/2900	Beta,- 301222	2010
AHU 7	Inside the dolmen	Human bone	4390±30	3090/2910	Beta,- 301225	2010
AHU 23	Inside the dolmen	Human bone	4410±30	3260/3245, 3100/2920	Beta,- 391717	2014
AHU 18	Inside the dolmen	Human bone	4430±30	3320/3235,3170/3160,3115/3005,2990/2930,	Beta,- 382978	2013
AHU 19	Inside the dolmen	Human bone	4450±30	3330/3215,3185/3155,3130/3015	Beta,- 382979	2013
AHU 20	Inside the dolmen	Human bone	4470±30	3340/3080,3070/3025	Beta,- 382980	2013
AHU 1	Inside the dolmen	Human bone	4520±30	3360/3100	Beta,- 301219	2010

Table 1: Radiocarbon dates (the last columns indicates the year of the excavation from which the sample was taken). All the samples are from human bones located inside the dolmen ‘Alto de la Huesera’ (chamber or passage).

Tabla 1 : Dataciones radiocarbónicas (la columna de la derecha indica el año de la excavación en la que se recogió cada muestra). Todas las muestras corresponden a huesos humanos localizados en las excavaciones del interior del dolmen del Alto de la Huesera (cámara y corredor).

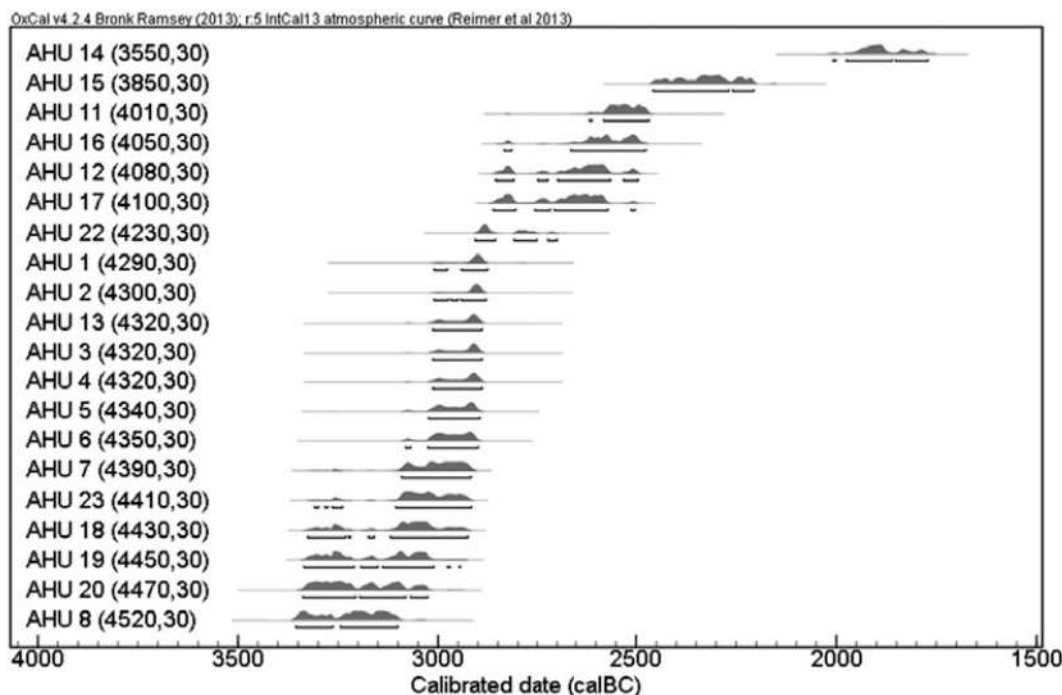


Figure 1: Timeline of the radiocarbon datings concerning the burials excavated in the chamber and passage of the dolmen (see table 1 for details).

Figura 1 : Línea temporal de las dataciones radiocarbónicas relativas a los enterramientos excavados en la cámara y el corredor del dolmen (ver tabla 1 para más detalles).



both series, it seems that there is a gap of around one hundred and thirty years during which no burials were deposited. This could perhaps be due to a collapse; part of the structure would have fallen down, as suggested by the filling of large blocks in the chamber and the passage (the layer reached by the 1948 excavation), and the use of the dolmen would have stopped for a while. Later, the chamber was reopened by breaking the upper part of the vertical slab to the East.

The restoration of the monument was done in two phases. First, the cover slab was replaced by specialized restoration professionals and under the supervision of the archeologists who excavated it. Unfortunately, the second one -the restoration of the tumulus-, was done without control nor any historic criteria, and resulted in a rough accumulation of blocks with no relationship with the aspect that might have had in the past.

In the light of the foregoing, next sections go over the aspects concerning the geometric documentation, the virtual representation of the original state of the monument and the preservation and dissemination of the information.

## 2. Geometric documentation

When it comes to the geometric documentation of a megalith, many aims might be considered, from the studies concerning the astronomic orientation (Lozano *et al.* 2014) to the placement within the landscape (Enríquez and Duque 2015), going through the definition of the geometry of the slabs or the mound that compose the monument (Benavides *et al.* 2016), the location of the artefacts and skeletons found during the archaeological excavations (Armentano *et al.* 2012), the depiction of the engravings (Cassen *et al.* 2014), the structural analysis (Navarro *et al.* 2008), the generation of immersive tours (Gaugne *et al.* 2012) and so on. Therefore, not all projects will resort to the same combination of techniques for the recording (land surveying with total station, photogrammetry, laser scanning...), neither will the same kind of outcomes (3D models, plan views, cross-sections...) be produced. Indeed, the decision about how to perform the documentation work needs to take into account the aforementioned aims, but also other essential considerations like the budget and the available time allocation.

In any case, current methodologies for geometric documentation allow the detailed and accurate

como los precedentes de las últimas intervenciones. Entre ambas series parece que se produce un lapso de unos ciento treinta años en los que no se realizó ninguna inhumación. Puede deberse a que en el momento en el que el dolmen colapsó, ante el estado en el que quedó el monumento, se produjo un abandono seguido, pocos años después, de la amortización del corredor y de la cámara cubriendo los restos con grandes piedras (hasta las que se excavó en 1948) y se vuelve a utilizar la cámara cortando el ortostato situado al este para poder acceder a su interior.

La restauración del monumento se hizo en dos fases, la primera la restitución de la losa de cubierta en su emplazamiento original a cargo de una de las empresas de restauración del Territorio y siguiendo las directrices de quienes lo habían excavado. La segunda, la restauración del túmulo, se hizo sin ningún tipo de orden y sin mantener el criterio que se había utilizado durante su construcción. No se quisieron seguir las pautas dictadas por quienes lo habían excavado y, al final, se amontonó una especie de morcuero que poco tiene que ver con el estado que debió de tener el monumento en origen.

A la luz de la información anterior, las siguientes secciones revisan los aspectos relativos a la documentación geométrica, la representación virtual de la apariencia original del monumento y la preservación y difusión de la información.

## 2. Documentación geométrica

Al tratar el tema de la documentación geométrica de un megalito debe tenerse en cuenta que puede realizarse por diversos motivos, desde estudios relativos a la orientación astronómica (Lozano *et al.* 2014), el emplazamiento en el territorio (Enríquez and Duque 2015), la definición de la geometría de las losas o del túmulo que forma el monumento (Benavides *et al.* 2016), la localización de los objetos y enterramientos hallados durante las excavaciones arqueológicas (Armentano *et al.* 2012), la descripción de los grabados (Cassen *et al.* 2014), el análisis estructural (Navarro *et al.* 2008), la generación de recorridos inmersivos (Gaugne *et al.* 2012), etc. Por lo tanto, no todos los proyectos recurrirán a la misma combinación de técnicas para el registro (topografía con estación total, fotogrametría, escáner láser...), ni tampoco obtendrán el mismo tipo de resultados (modelos 3D, vistas en planta, secciones...). De hecho, la decisión sobre la forma de realizar la documentación debe tomar en consideración el objetivo mencionado anteriormente, además de otros factores determinantes como el presupuesto o el tiempo disponible.

En cualquier caso, es cierto que las metodologías actuales para la documentación permiten el registro

recording of the shape, size and appearance of the monument at different stages of the excavations. In this particular site, the plan for the documentation of the dolmen 'Alto de la Huesera' included (Rodríguez Miranda *et al.* 2017):

- a) Setting up a reference network in the official absolute coordinate system in order to provide an integration within the existing cartography.
- b) 3D modelling of the site at different times and the generation of products: plan views, cross-sections, etc., in order to show the accomplished works and assist the planning of the successive campaigns (Figure 2).
- c) The stakeout of the excavation grid and other references for the archaeological works.
- d) Mapping of the archaeological remains and skeletons found during the excavations.

It is important to note that the appearance of the site on the graphic documentation changes significantly from year to year. This is due to the fact that each excavation could imply the dismantling of part of the structure (for instance, removing the fallen cover for a better access to the chamber, the subsequent straightening and reconstruction of the leaning and missing blocks, etc).

For the initial project of geometric documentation (year 2010) we selected the technique of stereoscopic photogrammetry, generating as a main outcome a

detallado y preciso de la forma, dimensiones y aspecto del monumento durante las diferentes fases de las excavaciones. Para el caso particular del dolmen del « Alto de la Huesera » se recurrió a las siguientes (Rodríguez Miranda *et al.* 2017):

- a) Establecimiento de una red de referencia enlazada al sistema oficial de coordenadas, de forma que se aseguraba la integración con otra cartografía existente.
- b) Modelado 3D del yacimiento en diferentes momentos y generación de productos: vistas en planta, secciones longitudinales, etc., con el fin de mostrar los trabajos realizados y asistir la planificación de las campañas sucesivas (Figura 2).
- c) Replanteo de la cuadrícula de excavación y resto de referencias necesarias para los trabajos arqueológicos.
- d) Cartografía de los restos arqueológicos y enterramientos localizados durante las excavaciones.

Es importante destacar que el aspecto del yacimiento cambiaba de manera significativa de un año al siguiente debido a que las excavaciones implicaban el desmantelamiento de parte de la estructura (por ejemplo, tras retirar la losa de cubierta que se encontraba originalmente caída en el interior de la cámara, el posterior enderezamiento y reconstrucción de las losas inclinadas, el reemplazo de las faltantes, etc.).

Para el proyecto inicial de documentación (en el año 2010) se determinó utilizar fotogrametría estereoscópica, generando así como principal resultado



Figure 2:  
Photogrammetric documentation of the mound around the passage (year 2014).

Figura 2 :  
Documentación fotogramétrica del túmulo alrededor del corredor (año 2014).

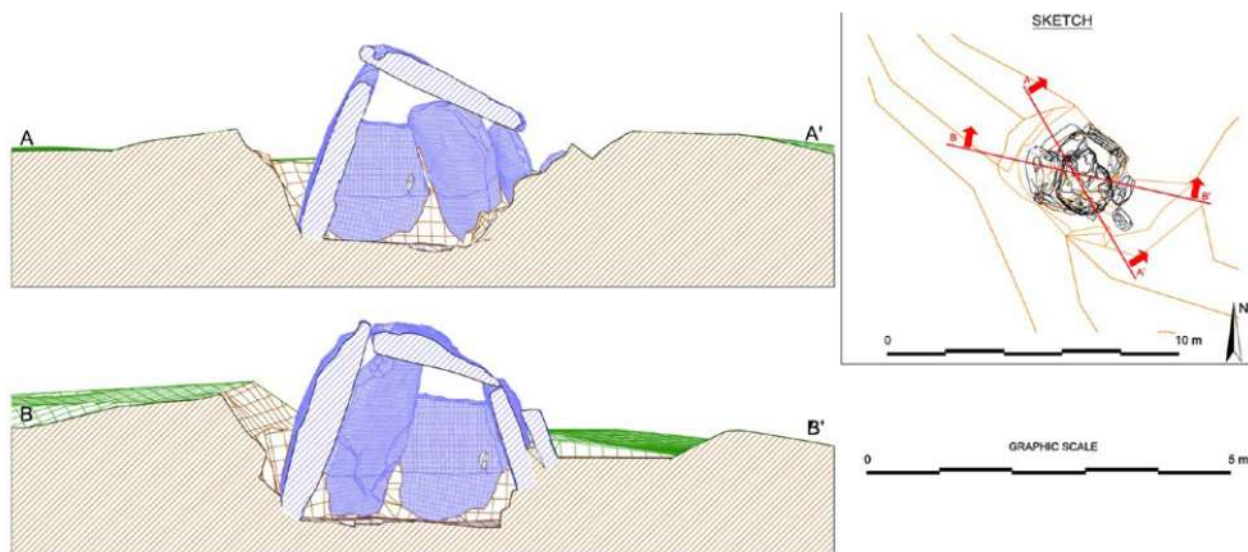


Figure 3: Two cross sections from the 3D model of the monument as it was after the excavations, and work done in 2010 (the passage was still covered).

Figura 3 : Pareja de secciones longitudinales del modelo 3D como se encontraba después de las excavaciones del año 2010 (el corredor estaba aún cubierto).

three-dimensional line model (wireframe) directly drawn from the stereoscopic pairs. The lines defined the boundaries of the slabs and other elements of the site (for instance, the shape of the mound) and were enriched with 3D points scattered all over the surfaces in order to generate a meshed model of each element. From the 3D meshed model, derivatives such as cross-sections (Figure 3) or plan views were produced.

In order to keep the continuity of the documentation, this technique was applied during the following years (until 2014). Consequently, a set of homogeneous models (as far as the kind of geometric elements is concerned) is available, so as to show the evolution of the site during the excavations year after year.

Nevertheless, the new possibilities of faster and more accurate documentation provided by the development of the software for image-based 3D modelling were also incorporated (in particular, thank to the *Structure from Motion - SfM* algorithm). This also allowed the generation of products with photographic textures (3D models but also orthoimages) (Figure 4).

### 3. Virtual modelling of hypotheses

Virtuality allows showing hypotheses about the former appearance of the site. Contrary to the physical reconstruction, several virtual alternatives can coexist

un modelo vectorial tridimensional (alámbrico) que se dibujó directamente de los pares estereoscópicos. Las líneas definen los perímetros de las losas, detalles de sus respectivas superficies y geometría del resto de elementos del yacimiento (como puede ser la forma del túmulo). Estos perímetros se complementaron mediante puntos 3D distribuidos por las superficies de forma que se pudieron generar modelos mallados de cada elemento. Una vez en disposición del modelo 3D, se obtuvieron productos derivados como las secciones longitudinales (Figura 3) o las vista en planta.

Con el fin de mantener la continuidad de la documentación, esta forma de proceder se utilizó también durante las siguientes campañas (hasta el año 2014). De esta forma, se cuenta con un conjunto de modelos de características similares (en lo relativo al tipo de entidades geométricas) que permiten ver la evolución del yacimiento durante los años que duraron las excavaciones.

No obstante, durante estos años se desarrollaron nuevas posibilidades de documentación más rápidas y precisas gracias al desarrollo de los programas de procesado de imágenes para la reconstrucción 3D (en especial los basados en los algoritmos de *Structure from Motion - SfM*). Estos desarrollos también fueron incorporándose paulatinamente lo que permitió añadir nuevos productos como los modelos 3D con texturas fotográficas o las ortoimágenes (Figura 4).

### 3. Modelado virtual de hipótesis

El espacio virtual permite mostrar hipótesis sobre el aspecto del monumento en otras épocas. A diferencia de la reconstrucción física, en la que es preciso elegir una

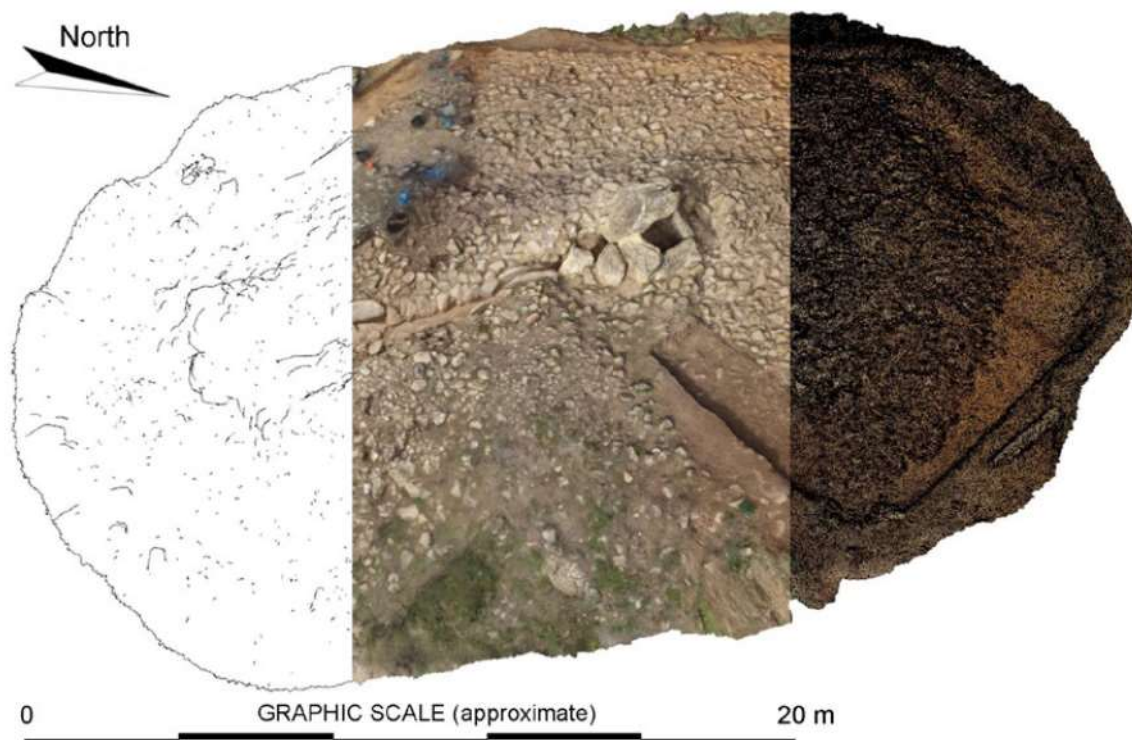


Figure 4: Perspective view of the 3D model generated by image matching based techniques. Composition made of three representations of the same model (from left to right: silhouette, real textures and mesh).

Figura 4 : Vista perspectiva del modelo 3D generado mediante técnicas de emparejamiento de imágenes. Composición de tres representaciones del mismo modelo (de izquierda a derecha: silueta, textura real y malla).

and provide multiple points of view about how this site could have been at one specific moment, permitting the discussion among experts. Moreover, it is possible to generate different models showing successive states, therefore, representing the evolution.

Turning to methodological aspects, current practices in virtual modelling considers mandatory that the hypotheses resulting from the archaeological works are documented in such a way that the scientific community will be able to access not only the final results, but also the initial data and the description of the interpretative process. Whilst the description of the deductive processes and hypotheses in the graphic representation has a sound foundation from the London Charter (London Charter Initiative 2009), preservation of information sources, to which we will dedicate next section, is still an open issue.

The virtual reconstruction of the dolmen in its original state was done following an iterative procedure, starting with a debate among experts, then, communication with 3D designers for the materialization of the ideas,

única alternativa, diversas variantes de reconstrucciones virtuales pueden coexistir, proporcionando así diversos puntos de vista sobre cómo podría haber sido el lugar en un momento determinado. Este hecho, también facilita el debate entre especialistas, por otro lado, también es posible generar múltiples modelos para representar diferentes momentos, de esta forma, se muestra la evolución del lugar y su entorno.

En lo referente a los aspectos metodológicos, la práctica actualmente establecida en el modelado virtual requiere que las hipótesis extraídas de los trabajos arqueológicos que se plasman en el modelo virtual sean documentadas convenientemente. De esta forma, la comunidad científica que acceda a la reconstrucción virtual será capaz, no sólo de ver el resultado, sino también de analizar los datos de partida y el proceso interpretativo seguido. Si bien la descripción de los procesos deductivos seguidos y las hipótesis empleadas en la representación gráfica cuentan con una sólida base teórica desde la Carta de Londres (London Charter Initiative 2009), la preservación de las fuentes de información -tema al que dedicamos el siguiente apartado- es aún un tema pendiente.

Para el caso concreto que estemos analizando, la reconstrucción virtual del dolmen en su estado original se realizó mediante un proceso iterativo que comenzaba con el debate entre los expertos, posteriormente, las

presentation of the 3D models for the analysis of the experts, suggestion of new changes, and so forth, until the model was satisfactory.

ideas se comunicaban a los diseñadores 3D para su materialización en forma de modelos 3D interactivo que volvían a ser analizados por los expertos con el fin de confirmar y evaluar nuevas posibilidades, las modificaciones sugeridas daban lugar a nuevas versiones del modelo que volvían a ser revisados y así sucesivamente hasta llegar a un resultado satisfactorio.

Some of the guidelines employed for the construction of the virtual model are summarized here:

A continuación se resumen algunos de los criterios empleados:

- a) Even the elements that were located in their original place during the excavations may need to be modified (e.g. straightened) for the virtual model.
  - b) Current edges are the product of several thousand of years of erosion; hence, the original shape should have been sharper. Therefore, instead of working with the complexity of the detailed surfaces documented by photogrammetry, it was deemed acceptable to use simplified geometries (Figure 5). Besides, this decision made more visible the relationships between the components of the monument.
  - c) Other elements (such as the mound) need to be regularized, to try to visualize a likely shape.
- a) Incluso los elementos que fueron localizados en su posición original durante las excavaciones pueden necesitar modificaciones (por ejemplo, enderezar las losas que se encontraron con una mayor inclinación de la original) para su representación en el modelo virtual.
  - b) Los bordes de las losas que se aprecian en la actualidad son el resultado de miles de años de erosión; por lo tanto, es razonable pensar que las formas originales fueran menos romas. Por este motivo, en lugar de trabajar con el nivel de detalle de las superficies documentadas mediante fotogrametría se consideró aceptable emplear geometrías simplificadas (Figura 5). Asimismo, esta decisión permite enfatizar más las relaciones entre los componentes.
  - c) Otros elementos (como el túmulo) deben ser regularizados respecto a su estado actual, tratando de visualizar una forma original plausible.

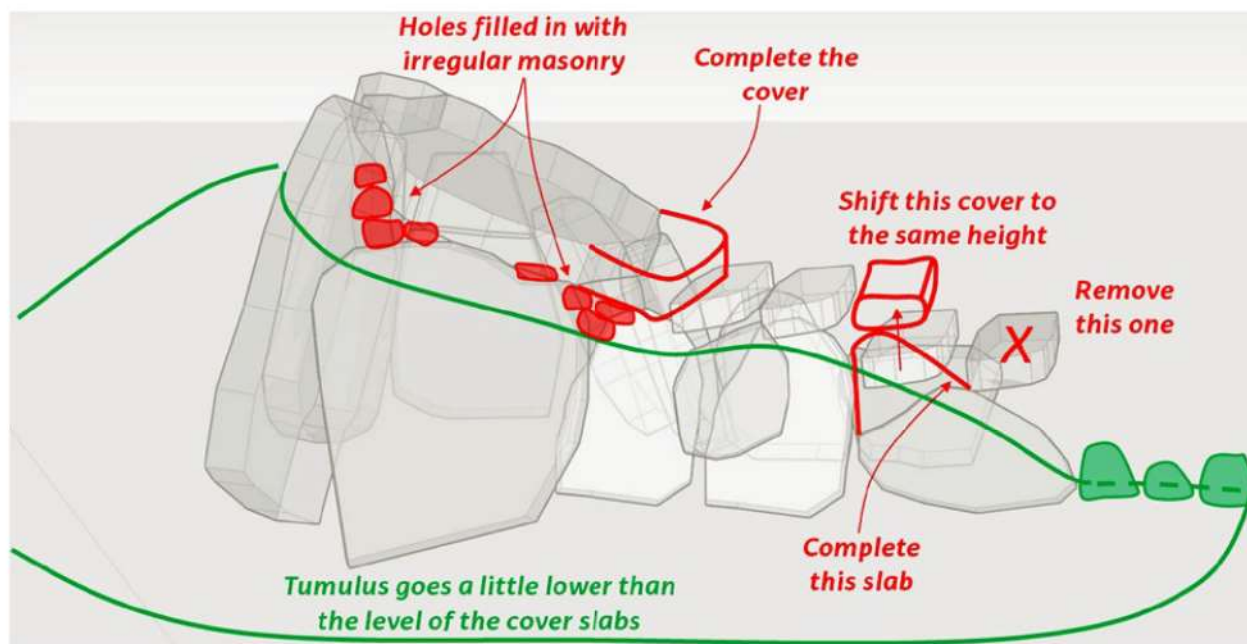


Figure 5: Printed view of the simplified 3D model of the general form and location of the main constructive elements of the dolmen. Drawings like these were used for noting down hypotheses and changes for a new (and progressively more complete) version of the model.

Figura 5 : Versión impresa del modelo 3D simplificado de la forma y localización de los principales elementos constructivos del dolmen. Diseños como este fueron utilizados para la anotación de hipótesis y cambios para las nuevas (y progresivamente más completos) versiones del modelo.

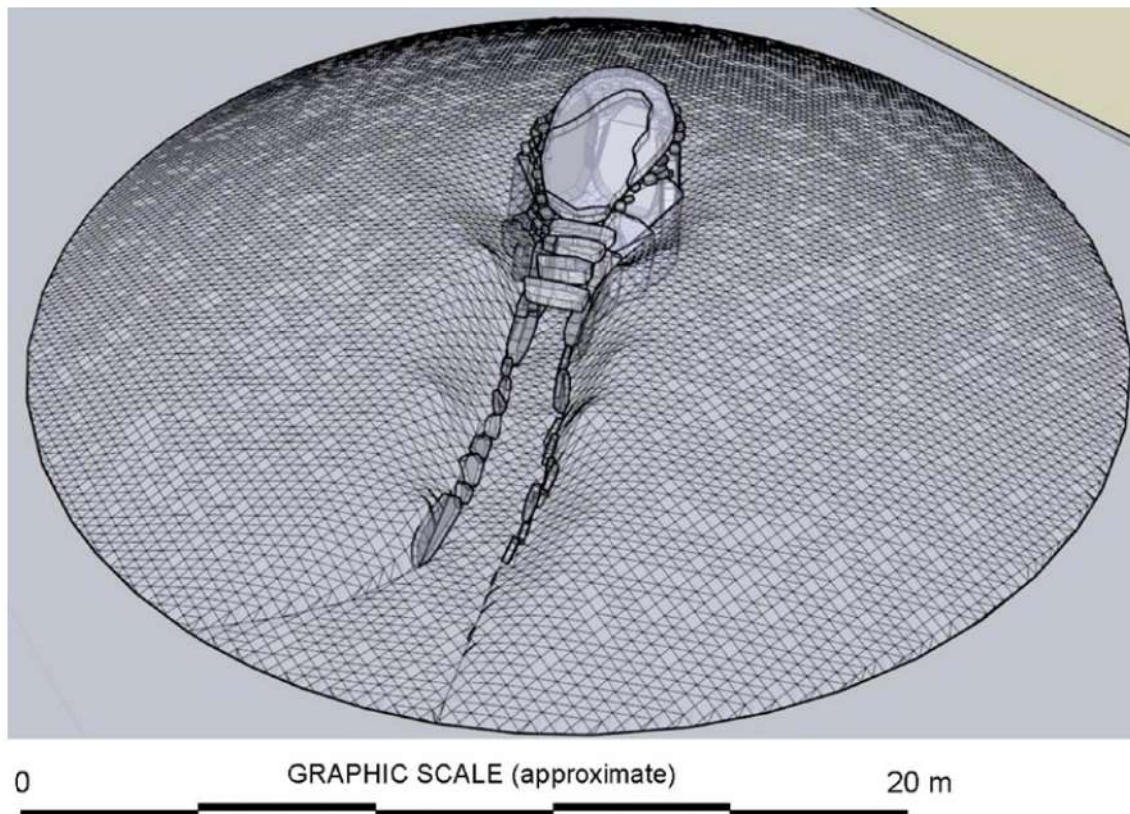


Figure 6: Hypothesis of the original appearance (~ 3200 BC).

Figura 6 : Hipótesis del aspecto original (~ 3200 a.C.).

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>d) Some elements have to be completed for their missing parts (e.g. broken slabs).</li> <li>e) Gaps will be filled bearing in mind the presumed symmetry and functionality of the structure.</li> <li>f) A complete view of the monument has to be provided. Therefore, even uncertain facts (such as the height of the mound or its extension) should be modelled.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>d) Algunos elementos están incompletos o rotos, por lo que deben completarse.</li> <li>e) Los huecos y lagunas de información deben resolverse teniendo en cuenta la presumible simetría y funcionalidad de la estructura.</li> <li>f) Se debe llegar a una vista completa del monumento, lo que conllevará considerar también elementos parcialmente indeterminados, de los cuales no se cuenta con información completamente fiable (como la altura del túmulo o su extensión).</li> </ul> |
|---|---|

The model shows the hypothesis of the original aspect of the dolmen aimed at the constructive study of the monument and at showing the relationships among the different components. Therefore, there was no need to work with textures, animation, people or visual effects (e.g. fog, rain...). Nevertheless, all these features can be added in the future if deemed appropriate (Figure 6).

Este modelo que muestra la hipótesis del aspecto original del dolmen está pensado para el análisis constructivo de sus elementos y para mostrar las relaciones entre los diferentes componentes. Por este motivo, no se consideró necesario trabajar con texturas fotorrealistas, añadir animaciones, personajes o efectos visuales (como podría ser niebla o lluvia). No obstante, todos estos aspectos podrán añadirse en el futuro si se ven oportunos (Figura 6).

As mentioned above, the visual representation must be accompanied by a representation of the likelihood of each part of the reconstruction (Figure 7), so that uncertainties are clearly presented to the users.

Tal como se ha dicho anteriormente, la representación visual debe acompañarse con la representación del grado de verosimilitud de cada parte de la reconstrucción (Figura 7), de tal manera que las incertidumbres queden claramente identificadas para los usuarios.



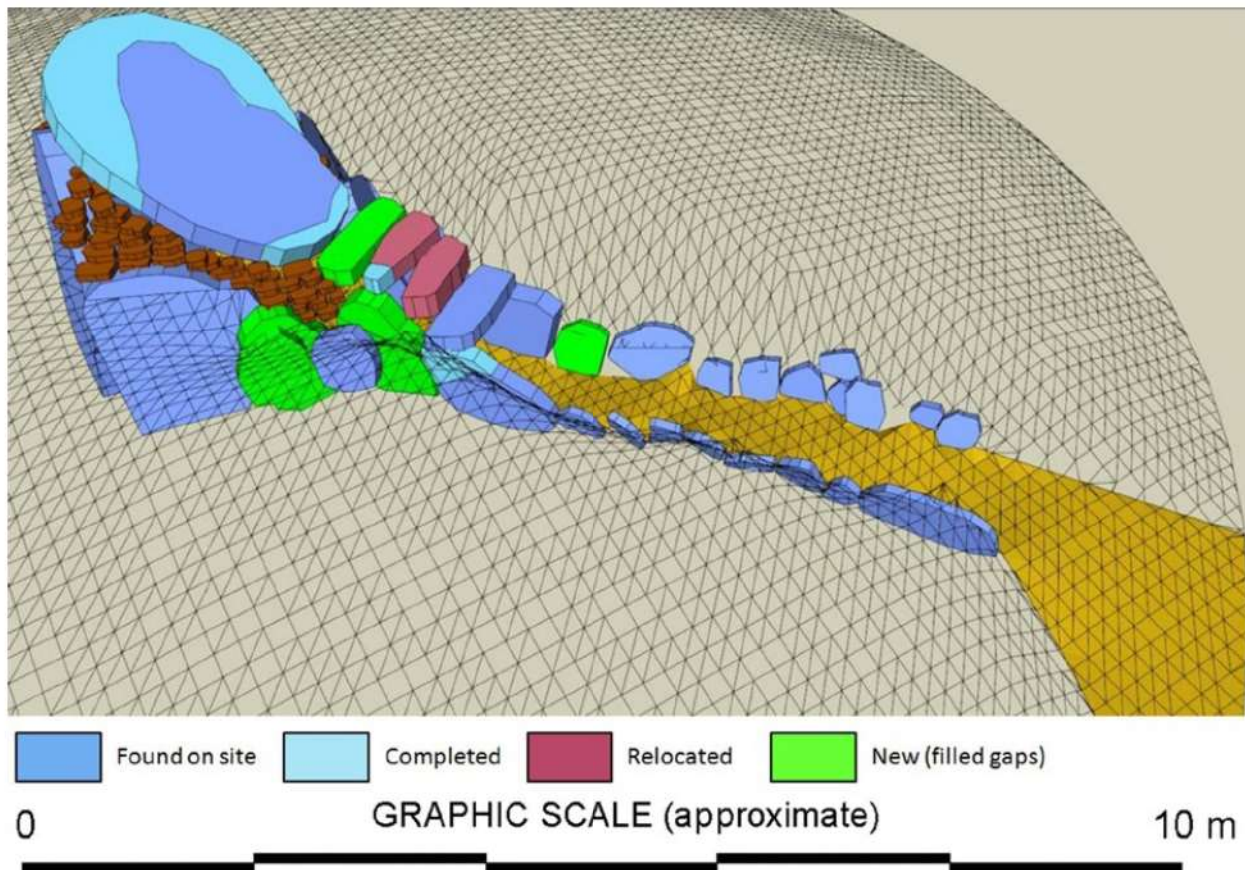


Figure 7: Levels of likelihood of the different parts of the virtual reconstruction.  
 Figura 7 : Niveles de verosimilitud de diferentes elementos de la reconstrucción virtual.

#### 4. Preservation of the information

The state of development of the techniques conditions the procedure to be used. For instance, at the beginning of the 2000s, the best results were obtained by using stereoplotting with analog photographs. Some years later, the development of the terrestrial laser scanners allowed for dense 3D models of points and meshes; and more recently, the ever improving resolution of the digital images and the easy availability of powerful software for automatic matching and geometric 3D image-based reconstruction has made the generation of highly detailed models fully affordable.

The downside of this evolution is that, for a site for which we dispose of a range of information recorded over a period of time, there is a risk of losing the interoperability among the products generated at different moments. In our case, we implemented the following strategies in order to avoid such a problem:

#### 4. Preservación de la información

Las tecnologías disponibles condicionan los procedimientos que pueden emplearse, por ejemplo, a comienzos de la década del 2000, los mejores resultados de documentación geométrica se obtenían mediante restitución fotogramétrica utilizando fotografías analógicas; algunos años más tarde, el desarrollo de los escáneres láser terrestres dio entrada a las nubes de puntos 3D de alta densidad y los modelos de mallas. Más recientemente, la continua mejora en las prestaciones de las cámaras digitales y la disponibilidad de software para el emparejamiento de imágenes y extracción de geometrías 3D ha permitido la generación de modelos con un elevado grado de detalle con unos costes muy reducidos.

Una desventaja de esta frenética evolución, para un yacimiento del que se dispone de información durante un periodo largo de tiempo es que se corre el riesgo de perder la posibilidad de trabajar de forma conjunta con la información de diversos momentos (dado que está generada con tecnologías muy alejadas y poco compatibles). En nuestro caso, se han implementado las siguientes estrategias con el fin de paliar este problema:

- a) The four projects of geometric documentation were comprehensively documented (photographs, descriptive report, sketches, certificates of the equipment, etc.). All the information is stored in standard file formats and enriched with descriptive metadata. This information can be consulted in the archive of the public administration that funded the archaeological work (regional government of the province).
- b) At present, it is not possible to provide full on-line access to all information freely, due to the exploitation rights. The reports are uploaded on the university's repository (<https://addi.ehu.es/>) and enriched with metadata so any user interested in this subject can be aware of the existence and characteristics of this information, as well as where to turn to in order to get more details. These registers in the repository are also aggregated by cultural and research portals, the most relevant of which is undoubtedly Europeana ([www.europeana.eu](http://www.europeana.eu)) in which a user can link our information with the one provided by hundreds of cultural institutions all over Europe.

## 5. Conclusions

The excavations at the dolmen 'Alto de la Huesera' allowed us to demonstrate that it did have a passage (and, therefore, that it was not a polygonal structure). The geometric documentation and its correlation with the archaeological data -such as the interpretation of the alteration and rearrangement processes of the funerary space over time, burials, radiocarbon datings, grave goods, etc.- made possible an approximation of the physical features of the monument in its original state. It also allowed us to suggest hypotheses concerning the changes that have occurred over its period of use, from the Chalcolithic up to the final Bronze age.

This case study shows that the techniques for geometric documentation provide interesting data for the study of megaliths. For instance, by the generation of sequences of 3D models for the documentation of the different states of the monument during the excavation and restoration works.

## 5. Conclusiones

Las excavaciones en el dolmen del « Alto de la Huesera » han permitido determinar que realmente sí que contaba con un corredor (y, por consiguiente, que no era una simple estructura poligonal). La documentación geométrica y su correlación con los datos arqueológicos (como la interpretación de la alteración y los procesos reorganizativos del espacio funerario a lo largo del tiempo, enterramientos, dataciones radiocarbónicas, ajuar, etc.) han hecho posible disponer de una aproximación a las características físicas del monumento como debió ser originalmente y permite proponer hipótesis relativas a los cambios ocurridos durante el periodo en que estuvo en uso, desde el Calcolítico hasta el final de la Edad de Bronce.

El caso analizado muestra que las técnicas de documentación geométrica proporcionan información de gran interés para el estudio de las estructuras megalíticas. Así, por ejemplo, la generación de secuencias de modelos 3D para la documentación de los diferentes estados del monumento durante su excavación y posterior restauración física.



On the other side, the geometric record can be the basis for the virtual representation of hypotheses about past states. These virtual models are an excellent tool for discussion among experts; nevertheless, some considerations need to be taken into account. First, the reconstructions need to bear in mind the expected purpose and use. For example, a virtual model to study the constructive relationship between the slabs and another aimed at showing the funerary rites will be different. Secondly, every image of the past has to be accompanied by a clear statement of the levels of uncertainty of each part that is represented.

Finally, it is essential to note that the traceability of the work should be supported by a network of data repositories and cultural aggregators that help the users get the information they want.

#### **Acknowledgements**

This work was developed at the University of the Basque Country (UPV/EHU), in the research group on Prehistory (IT-1223-19) of the Basque University System.

Por otro lado, el registro geométrico puede servir de base para la representación virtual de hipótesis sobre estados pasados. Estos modelos virtuales son una herramienta excelente para facilitar el debate entre expertos; sin embargo, algunas consideraciones deben tenerse en cuenta: en primer lugar, las reconstrucciones deben hacerse en función de un objetivo concreto (así por ejemplo, el modelo resultante será diferente si se ha concebido para estudiar la relación entre las losas o si pretende mostrar cómo eran los ritos funerarios), en segundo lugar, cada imagen del pasado debe venir acompañada con una descripción clara de los niveles de verosimilitud de cada parte representada.

Por último, es esencial indicar que la trazabilidad de los trabajos debería estar soportada por una red de repositorios de datos y portales de acceso a contenidos culturales que faciliten a los usuarios llegar a la información existente.

#### **Agradecimientos**

El presente trabajo se ha realizado en la Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU) dentro del grupo de investigación en Prehistoria (IT-1223-19) del Sistema Universitario Vasco.



**LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO**  
Grupo de Investigación en Patrimonio Construido (UPV-EHU)

c/ Justo Vélez de Elorriaga, 1 (Centro de Investigación Micaela Portilla)  
01006 Vitoria-Gasteiz (España-Spain).

Tfno: +34 945 013222 / 013264

e-mail: [ldgp@ehu.eus](mailto:ldgp@ehu.eus) web: <http://www.ldgp.es>



UPV EHU