

ARQUEOLOGÍA VIRTUAL PARA LA  
DOCUMENTACIÓN, ANÁLISIS Y  
DIFUSIÓN DEL PATRIMONIO  
EL HORNO DE CAL DE MONTESA (VALENCIA)

PABLO APARICIO RESCO



*Colección* Monografías 2

ARQUEOLOGÍA VIRTUAL PARA LA  
DOCUMENTACIÓN, ANÁLISIS Y  
DIFUSIÓN DEL PATRIMONIO  
EL HORNO DE CAL DE MONTESA (VALENCIA)

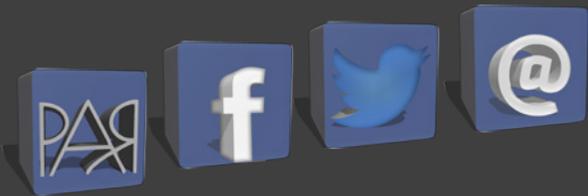
PABLO APARICIO RESCO

© De la edición: e-DitARX Publicaciones digitales  
© Del texto: Pablo Aparicio Resco  
© De las imágenes: Pablo Aparicio Resco  
Global Geomática S.L.

Quedan prohibidos, dentro de los límites contemplados por la legislación vigente, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, sea informático o mecánico, el alquiler o cualquier otra forma de cesión sin la previa autorización por escrito de los titulares.

ISBN 978-84-941758-8-6  
Depósito Legal: CS 289-2015

A Daniel Tejerina, amigo y maestro apasionado  
que me abrió las puertas a este mundo  
con su paciencia e ilusión.





# AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo no hubiera sido posible sin la colaboración de los profesionales de Global Geomática S.L., que me cedieron tanto el modelo 3D del horno de Montesa, como toda la documentación de registro de la excavación; sin la doctora Oreto García Puchol, directora de la tesina presentada en el verano de 2013 en la Universidad de Valencia, que puso freno, cuando había que ponerlo, a mi excesivo entusiasmo y me concedió total libertad a la hora de plantear el trabajo. Tampoco habría sido posible sin Crispín Atiénzar Requena, que vio nacer y crecer este proyecto y aguantó mis dudas, quejas, ideas y propuestas, en interminables cafés y comidas. La mitad de este trabajo, sin embargo, está dedicada íntegramente a los alumnos y profesores del Curso de Virtualización del Patrimonio de la Universidad de Alicante, cuyas aportaciones e ideas han sido fundamentales en todas las fases de trabajo. Finalmente, los agradecimientos especiales se los llevan mis padres, sin los que hubiera sido imposible si quiera estar estudiando en Valencia, y mis amigos, fantástico apoyo para olvidarme de vez en cuando de Blender y la arqueología.



# Índice

AGRADECIMIENTOS	7
<b>Introducción</b>	<b>11</b>
<b>El horno de Montesa: contexto arqueológico, estratigrafía, fases</b>	<b>17</b>
EL ENTORNO Y LA EXCAVACIÓN	19
EL HORNO Y SU CONTEXTO ESTRATIGRÁFICO	22
EL HORNO DE MONTESA:	36
UN EJEMPLO DE HORNO DE CAL TRADICIONAL	36
<b>Arqueología virtual: metodología y principales líneas de trabajo</b>	<b>47</b>
¿ES LA ARQUEOLOGÍA VIRTUAL UNA DISCIPLINA?	50
DOCUMENTACIÓN, ANÁLISIS Y DIFUSIÓN	53
<b>Aplicación de la arqueología virtual al horno de Montesa</b>	<b>83</b>
MODELADO 3D DE LA ESTRATIGRAFÍA DEL HORNO DE MONTESA	85
RECONSTRUCCIÓN DE LAS DISTINTAS FASES ARQUEOLÓGICAS	96
DISEÑO DE LA APLICACIÓN «EL HORNO DE MONTESA»	102
<b>Puesta en valor y divulgación</b>	<b>107</b>
<b>Conclusiones</b>	<b>115</b>
<b>Análisis antracológico del horno de cal de Montesa</b>	<b>119</b>
<b>Análisis de C14 de la UE 312</b>	<b>125</b>
<b>Lista de unidades estratigráficas del horno de cal de Montesa</b>	<b>129</b>
<b>Recursos externos</b>	<b>159</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>163</b>



# Introducción



*L'impiego delle tecnologie digitali trivi le sue più profonde motivazioni solo nella prospettiva globale di accompagnare l'intero percorso di conoscenza, come supporto per documentare, come sostegno all'analisi, come strumento per immaginare in fase di sintesi e, solo in ultima istanza, come mezzo di comunicazione .*

(De Felice, 2012, 13)

Vivimos en una de las épocas más fascinantes para el estudio del patrimonio. Por encima de las penurias económicas pasajeras, estamos inmersos en una excitante transición en la que la tecnología digital es la principal protagonista: año tras año avanzamos hacia una forma de hacer arqueología en la que la informática cada vez tiene más peso y tenemos la posibilidad de estudiar los restos del pasado con herramientas que, hasta hace poco, solo cabían en novelas de ciencia ficción. Esto no es, sin embargo, señal de haber encontrado el santo grial de la investigación arqueológica: para que cualquier herramienta sea útil en nuestra disciplina es necesario desarrollar un modo de uso acorde con la metodología arqueológica pues los avances informáticos, por si solos, no garantizan mejores resultados.

El trabajo que aquí se presenta es el resultado de un año de trabajo en torno a un bien patrimonial concreto y acotado: un horno de cal de época contemporánea que fue hallado en las proximidades de Montesa (Valencia) durante unos trabajos de excavación para la construcción de las vías del AVE Madrid-Valencia. El estudio de esta estructura arqueológica fue la excusa para poner en práctica diversas técnicas de la arqueología virtual, que van desde la fotogrametría digital a la creación de una visita virtual en un motor de juegos, y observar cómo estas nos ayudan en nuestro trabajo como arqueólogos. Lo que aquí puede leerse es una versión ampliada del trabajo final del Máster de Arqueología de la Universidad de Valencia que presentamos en julio de 2013 y que he creído necesario publicar como una monografía para luchar contra lo que siempre nos quejamos e impedir que nuestras

publicaciones queden ocultas en cajones —o discos duros— a los que muy pocas personas pueden tener acceso.

El principal objetivo de este trabajo fue el de llevar a cabo una investigación arqueológica desde el punto de vista de la arqueología virtual que permitiera mostrar algunas de las posibilidades reales de este campo de la arqueología que cada vez se va configurando con más fuerza como una nueva disciplina, al lado de otras como la geoarqueología, la arqueología de la arquitectura, etc. Hay que destacar que el desarrollo de estas técnicas se encuadra de forma plena en el trabajo arqueológico: las principales novedades, en la actualidad, apuntan hacia la virtualización integral de los yacimientos, desde la fase de excavación hasta la posterior divulgación. Por ello, el trabajo multidisciplinar es fundamental para el desarrollo de la arqueología virtual, y la coordinación de un arqueólogo resulta clave. Durante la toma de datos tridimensionales, el desarrollo de las distintas aplicaciones, la creación de las reconstrucciones virtuales, etc., surgen preguntas que solo la arqueología puede responder.

A partir de este objetivo principal se marcaron una serie de metas con las que comprenderemos mejor la aplicación de la arqueología virtual:

- Poner en valor la documentación tridimensional de una excavación para un mejor estudio de la estratigrafía y los contextos excavados, que permita conservar una mayor cantidad de información y llegar a interpretaciones más sólidas.
- Llevar a cabo de forma lógica la reconstrucción de las distintas fases individualizadas durante la excavación.
- Crear una aplicación informática que admita vistas interactivas del proceso de excavación y de las distintas fases históricas.
- Desarrollar una plataforma de divulgación efectiva desde el inicio de la investigación. De este modo se intentará socializar y poner en valor tanto el propio patrimonio como la metodología de nuestra profesión y las técnicas usadas en arqueología virtual.

Para la puesta en práctica de estos puntos, como ya hemos indicado, se escogió como objeto de estudio una estructura de combustión, un horno, hallada en el yacimiento de Quintaret (Montesa, Valencia) a comienzos de 2012 por Global Geomática S.L. La elección de la misma se ha debido a la

disponibilidad de su modelo 3D, realizado mediante escaneado láser en el momento de la excavación, y a que se adapta perfectamente a las exigencias de un estudio arqueológico de esta extensión y características, donde el papel de las técnicas de arqueología virtual puede resultar decisivo. Surgen así unos objetivos puramente arqueológicos de los que también nos hemos ocupado a lo largo de este estudio:

- Revelar su cronología aproximada, estudiando principalmente los restos antracológicos relacionados con la última combustión (UE 312).
- Descubrir la naturaleza de la estructura de combustión, es decir, con qué fin fue construida.
- Realizar una hipótesis convincente de la arquitectura que acompañaba a ese horno en su fase de uso y explicar su funcionalidad concreta.
- Interpretar las distintas fases documentadas durante la excavación de la estructura.

Como se observará a partir de ahora, las prácticas propias de la arqueología virtual y el estudio puramente arqueológico e histórico se entrelazan durante la investigación, siendo en muchas ocasiones inseparables. Esto es un buen síntoma y queda evidenciado por esa relación simbiótica que existe entre arqueología virtual y arqueología. Más adelante trataremos el problema de si la arqueología virtual debe ser considerada o no una disciplina propia porque resulta muy difícil trazar los límites entre la ilustración, la historia, la arqueología, la ingeniería gráfica, etc., que compondrían el mosaico de la arqueología virtual como un *summum* diferenciado. Aun así, adelantamos que somos partidarios de considerarlo una rama de la arqueología y así lo argumentaremos en el apartado dedicado a ello.

No nos cansaremos de repetir que ningún modelo tridimensional o reconstrucción virtual en el mundo del patrimonio se justifica de forma científica sin un estudio histórico-arqueológico previo y paralelo. Por ello, vamos a comenzar presentando, en el primer capítulo los resultados arqueológicos de esta investigación, donde será pleno protagonista el horno estudiado y su contexto; mientras que en la segunda parte del libro nos centraremos en el análisis de las posibilidades de la arqueología virtual como parte intrínseca de la metodología arqueológica.



# Capítulo 1

El horno de Montesa: contexto  
arqueológico, estratigrafía, fases



Durante el invierno de 2012 fue encontrada en las proximidades de Montesa (Valencia) una estructura de combustión cuya cronología, a la luz del registro arqueológico, resultaba indeterminada. En este apartado nos encargaremos de presentar los resultados de la excavación, la investigación posterior en torno a esta estructura y las diferentes hipótesis históricas que explican el hallazgo.

## EL ENTORNO Y LA EXCAVACIÓN

El horno de Montesa se localizó en el marco de las intervenciones arqueológicas relacionadas con la preparación de las obras del Nuevo Acceso Ferroviario de Alta Velocidad de Levante, en el tramo Moixent-L'Alcudia de Crespins. Los trabajos arqueológicos fueron llevados a cabo por la empresa Global Geomática S.L. y dirigidos por los arqueólogos Fernando Cotino Villa y María Clausi Sifre entre el 9 de enero y el 8 de junio de 2012 y en ellos destacaron los hallazgos de decenas de silos y de varias estructuras de combustión entre las que se encuentra el que aquí llamaremos «horno de Montesa»,<sup>1</sup> dentro del yacimiento de Quintaret, cuyo nombre deriva del topónimo de una de las parcelas en las que se encuentra.

El yacimiento se halla en el término de Montesa (Valencia), a menos de dos kilómetros al sureste de esta localidad (Fig. 1) y fue localizado durante las prospecciones arqueológicas llevadas a cabo en el verano de 2009 por la misma empresa que tres años después lo iba a excavar.

El lugar se sitúa en la parte superior de una suave colina que domina con facilidad buena parte del Valle de Montesa, delimitado al norte por la sierra

---

1 La elección de este nombre se debió a la necesidad de no dar información más precisa sobre la localización del hallazgo hasta el momento en el que fueran publicados los informes preliminares de la excavación. Como el presente estudio fue elaborado antes de ese momento y quisimos realizar desde el principio una labor de difusión en la web y las redes sociales (Arqueología en directo), tuvimos que omitir el término «Quintaret» y usar algo más genérico. La elección final fue «El horno de Montesa».



Figura 1.- Mapa de situación en el que se observa la población de Montesa, a la izquierda, y el área de excavación de Quintaret en torno a las vías del tren, a la derecha

de Enguera y el macizo del Caroig y al sur por la Serra Grossa, en la línea de confluencia entre los sistemas Ibérico y Bético. Es aquí donde el río Canyoles traza un gran valle de Oeste a Este —cuya parte central se corresponde con el Valle de Montesa— que ha constituido a lo largo de toda la historia un paso natural desde el Levante hacia el interior de la Península (Fumanal, Fernández Peris, Aura, 1993). A este respecto, la Vía Augusta discurre por el valle siguiendo el curso del río Canyoles y pasando a unos escasos 650 metros del yacimiento de Quintaret (Morote, 2002).

Durante la excavación arqueológica, además de seguirse una metodología tradicional basada en el sistema de estratigrafía Harris y de incorporarse la información recabada a una base de datos informática y a un sistema de información geográfica realizado con GvSig, se llevaron a cabo los levantamientos tridimensionales de todas las estructuras mediante el uso del escáner láser (Cotino, Clausi, 2012, 14-15).

La suave pendiente hacia el río Canyoles donde se encuentra el yacimiento está delimitada por dos pequeños cursos de agua irregulares: al este el *barranc de la Mentirola* y al oeste el *barranc del Toll* y estas características geográficas delimitan una zona encarada al sol y bien ventilada. Geológicamente se

asienta sobre una zona de margas blanquecinas consolidadas y puntualmente encostradas, denominadas en el habla local como *tap*, de formación miocénica (Cotino, Clausi, 2012, 16-17; Darder, 1929, 603), caracterizada por una gran ductilidad que facilita su excavación.

La intervención arqueológica permitió documentar restos de cronología ibérica en la zona oeste, mientras que en la central fueron excavados decenas de silos de época neolítica junto con alcorques agrícolas de una época indeterminada y evidencias de plantación de vid, así como varios silos y construcciones andalusíes. En esta área central fue encontrado también el horno del que nos ocupamos: una estructura de combustión de grandes dimensiones que, en un primer momento, fue catalogado como una estructura de combustión, probablemente romana, en muy mal estado de conservación (Cotino, Clausi, 2012, 16-17), (Figs. 2 y 3).



Figura 2.- Detalle de la planimetría de Quintaret (ortofoto sobre plano). A la derecha se observa el horno de Montesa.



Figura 3.- Vista de las excavaciones de Quintaret, con los restos del horno de Montesa en primer plano. Montesa se encuentra al fondo a la derecha.

Sobre todos estos vestigios, fueron individualizados restos del uso de la zona durante la construcción de la antigua vía del ferrocarril del siglo XIX, fundamentalmente material cerámico, postes y restos de varias casetas.

## EL HORNO Y SU CONTEXTO ESTRATIGRÁFICO

La gran estructura de combustión (UE 191) hallada en el yacimiento de Quintaret se encontraba colmatada por diferentes capas de relleno que se corresponden con las diferentes fases de uso y abandono. A lo largo de las siguientes páginas examinaremos la morfología de la estructura y su contexto estratigráfico.

Morfológicamente este horno está excavado en la roca natural (marga blanquecina de formación miocénica). Presenta una estructura circular con un diámetro máximo, en su parte superior, de 4,03 m y un diámetro mínimo, en la base de la estructura, de 3,05 m (Figs. 4 y 5). La altura media es de 1,8 m, siendo muy variable al encontrarse el horno excavado en una ladera. Debemos destacar el pequeño escalón o resalte que se aprecia a poca distancia de la base a lo largo de toda la estructura y que será una de las características que determine el tipo de horno ante el que nos encontramos. La altura media de este saliente es de 50 cm, ascendiendo de forma ataludada en la parte sureste hasta llegar casi al nivel de la boca del horno. En esta zona, todavía se pueden apreciar tres escalones o calapiés excavados para servir de apoyo a la hora de acceder al interior de la estructura.

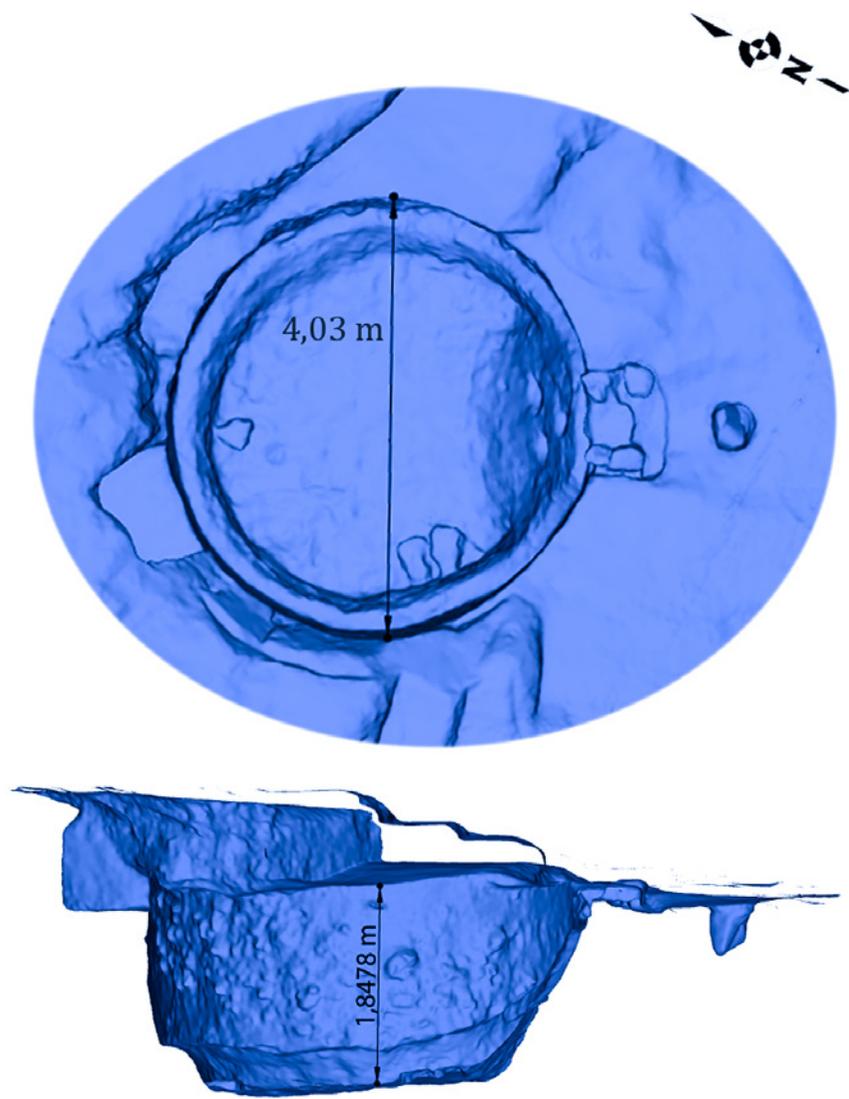


Figura 4.- Modelo tridimensional de alta precisión obtenido mediante el escaneo láser. Realizado por Global Geomática S.L.  
 a) Arriba: Vista cenital del modelo tridimensional del horno de Montesa.  
 b) Abajo: Vista del horno desde el perfil izquierdo.

Figura 5.- Fotografía del horno al finalizar su excavación. Realizada por Global Geomática S.L.



Como ya hemos indicado, al sureste de la estructura observamos la boca del horno, delimitada por unas pequeñas rocas encontradas in situ, y justo frente a la misma un orificio (UE 306) relacionado con una fase posterior. Al noroeste, en cambio, tenemos otra unidad estratigráfica negativa (UE 777) que secciona la propia estructura del horno y que pertenece también a otra fase sucesiva.

En la base del horno se observan tres mampuestos irregulares. En un primer momento, se pensó que pudieran pertenecer a la base de la parrilla, pero tras el estudio posterior de este tipo de horno, hemos descartado esta hipótesis, tratándose quizás de material caído durante la propia cocción.

La pared oeste se conserva en muy buen estado y todavía se pueden apreciar en ella las improntas de las herramientas utilizadas para excavar la estructura (Fig. 6). Se trataría de una herramienta o pico con una pala de 7-7,2 cm de longitud y un espesor final de 2 mm, siendo las esquinas de la pala en ángulo recto.



Figura 6.- Detalle de las marcas de la herramienta utilizada en la excavación de la estructura. Fotografía de Global Geomática S.L.

## LA ESTRATIGRAFÍA DEL HORNO

El primer aspecto destacable del contexto estratigráfico del horno es que se trata de una secuencia de unidades estratigráficas aisladas, propiciada por las propias características de esta estructura de combustión: una gran fosa dentro de la cual se van acumulando distintos depósitos (Figs. 7 y 8). Este aparente aislamiento se vio confirmado, ya desde el momento de su excavación, por la falta de conexiones de tipo material que permitieran establecer relaciones entre esta estructura y otras del resto de la planimetría. El contexto estratigráfico del horno de Montesa no parecía tener relación temporal con otros restos de la estratigrafía, y estudios posteriores —como los análisis de  $^{14}\text{C}$ — apuntan también en esta dirección, por lo que no realizaremos aquí un estudio en extensión del yacimiento.

Sí estudiaremos en cambio, la formación de este contexto. A continuación se mostrarán las infografías, las planimetrías y la matriz Harris que permiten explicar la secuencia estratigráfica de forma visual y posteriormente analizaremos una a una las distintas fases arqueológicas que han sido individualizadas.

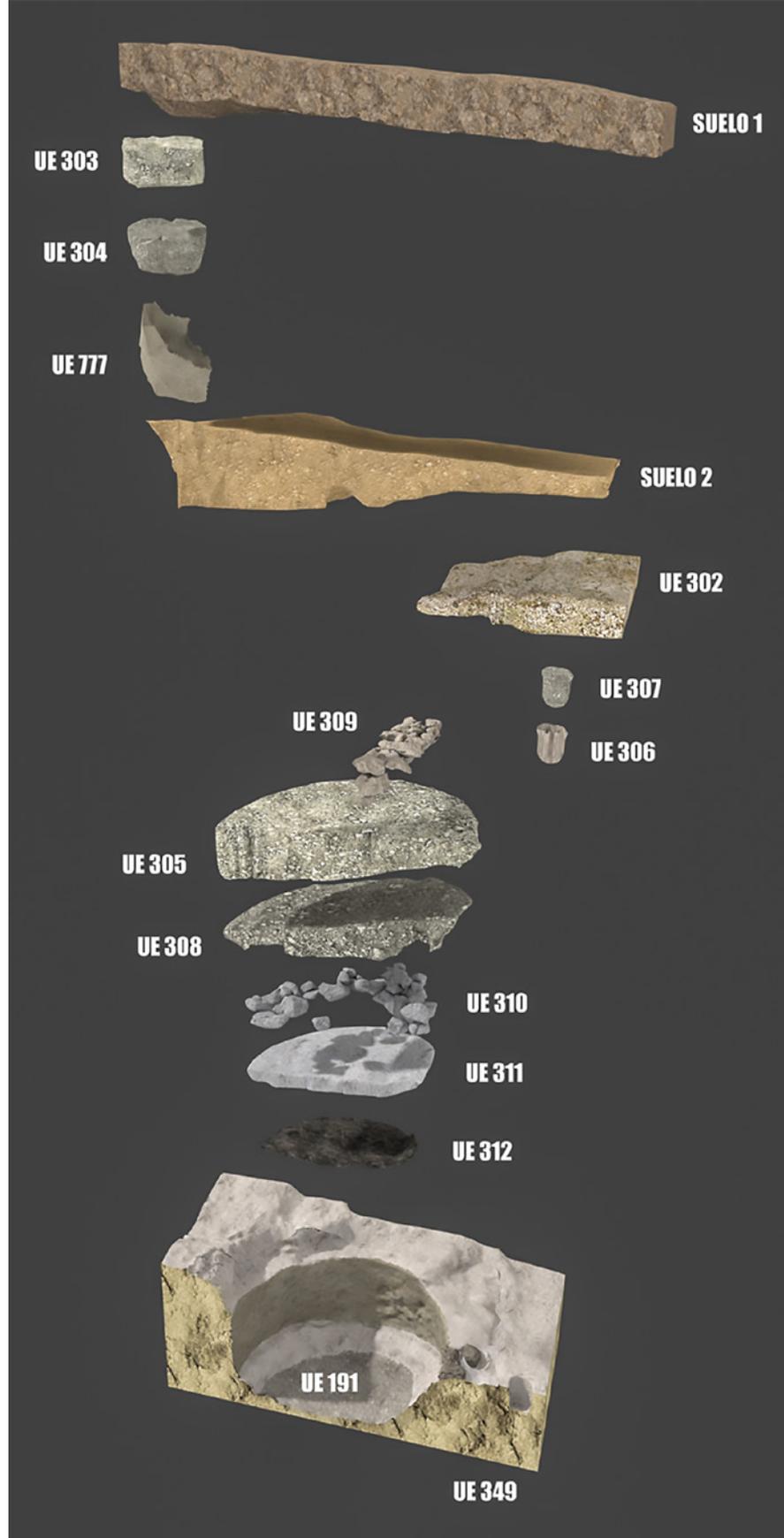


Figura 7.- Estratigrafía despiezada del horno de Montesa. Modelo 3D de la estratigrafía.

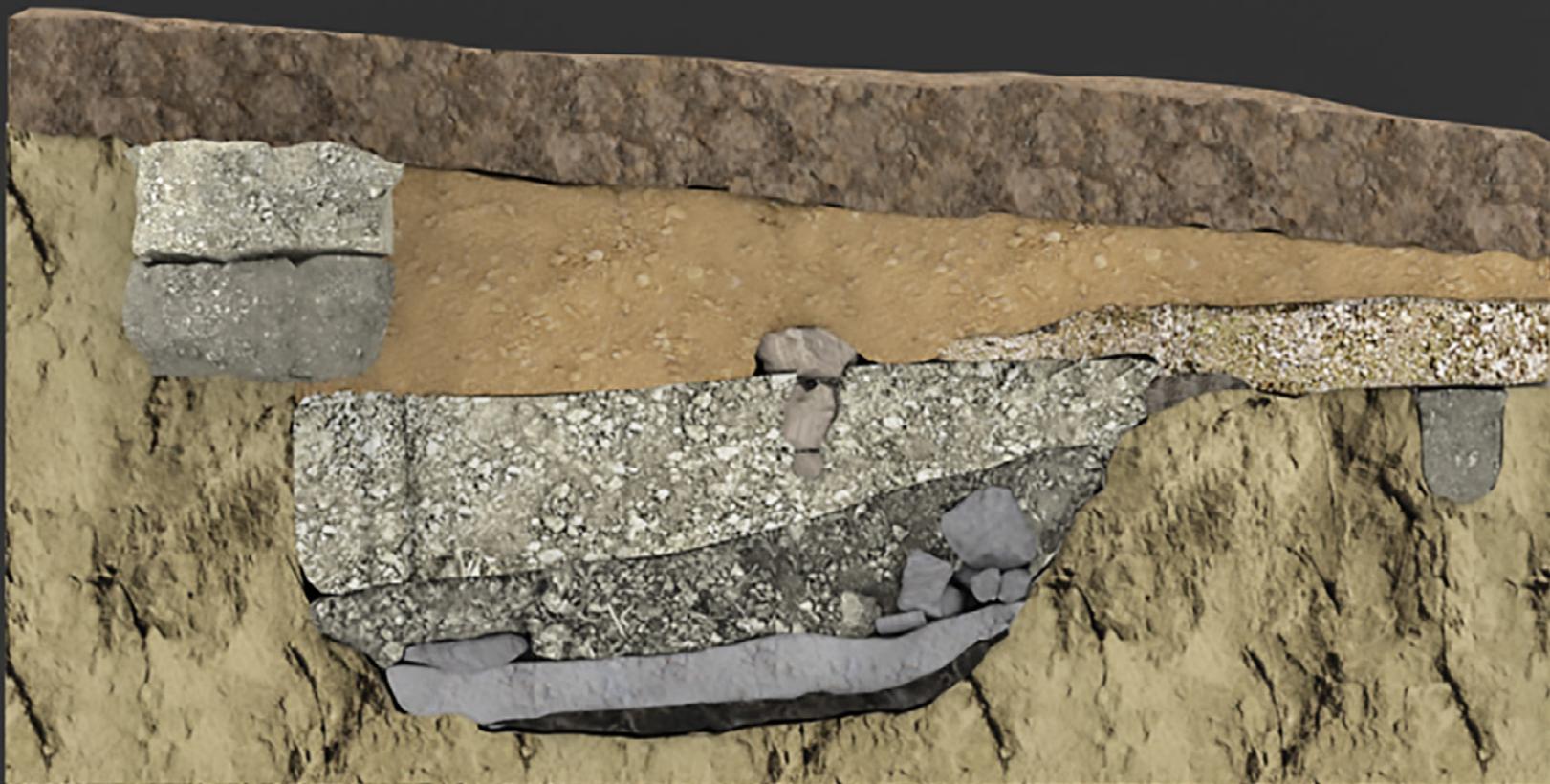


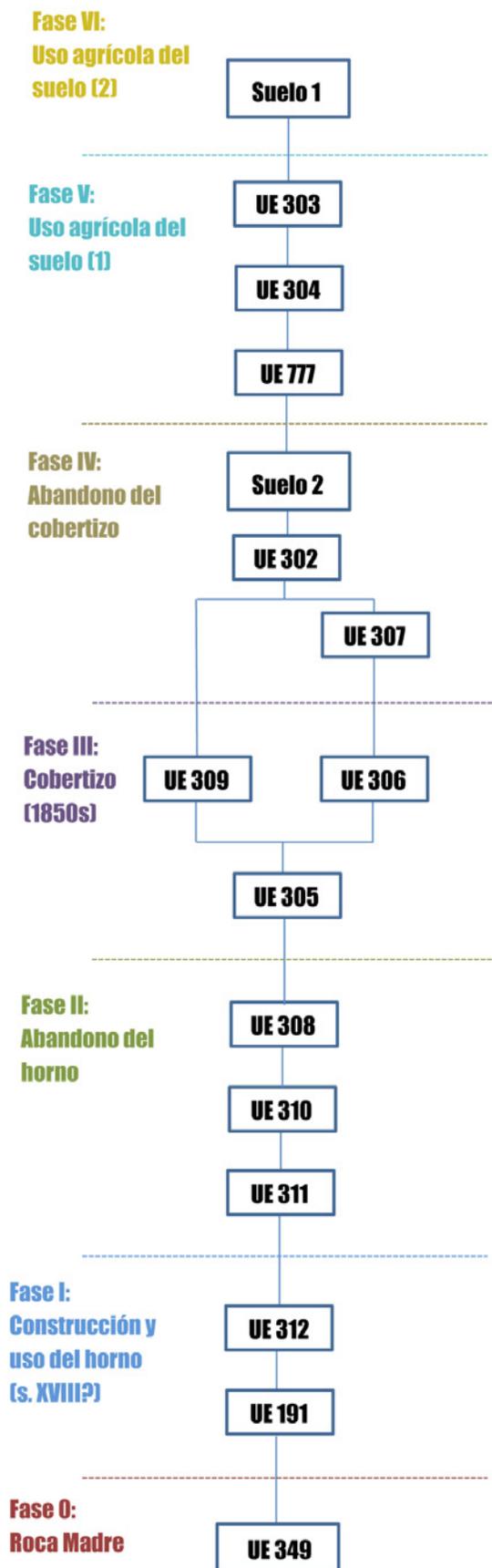
Figura 8.- Sección del horno. Modelo 3D de la estratigrafía.

## LAS FASES ARQUEOLÓGICAS

Durante la excavación fueron individualizadas una serie de unidades estratigráficas (véase el Anexo III: Lista de unidades estratigráficas del horno de cal de Montesa) que han permitido realizar la reconstrucción histórica de lo sucedido en este pequeño espacio (Figs. 9, 10 y 11). A continuación explicamos las distintas fases que las engloban.

### **Fase I: Construcción y uso del horno (siglo XVIII – mediados del siglo XIX)**

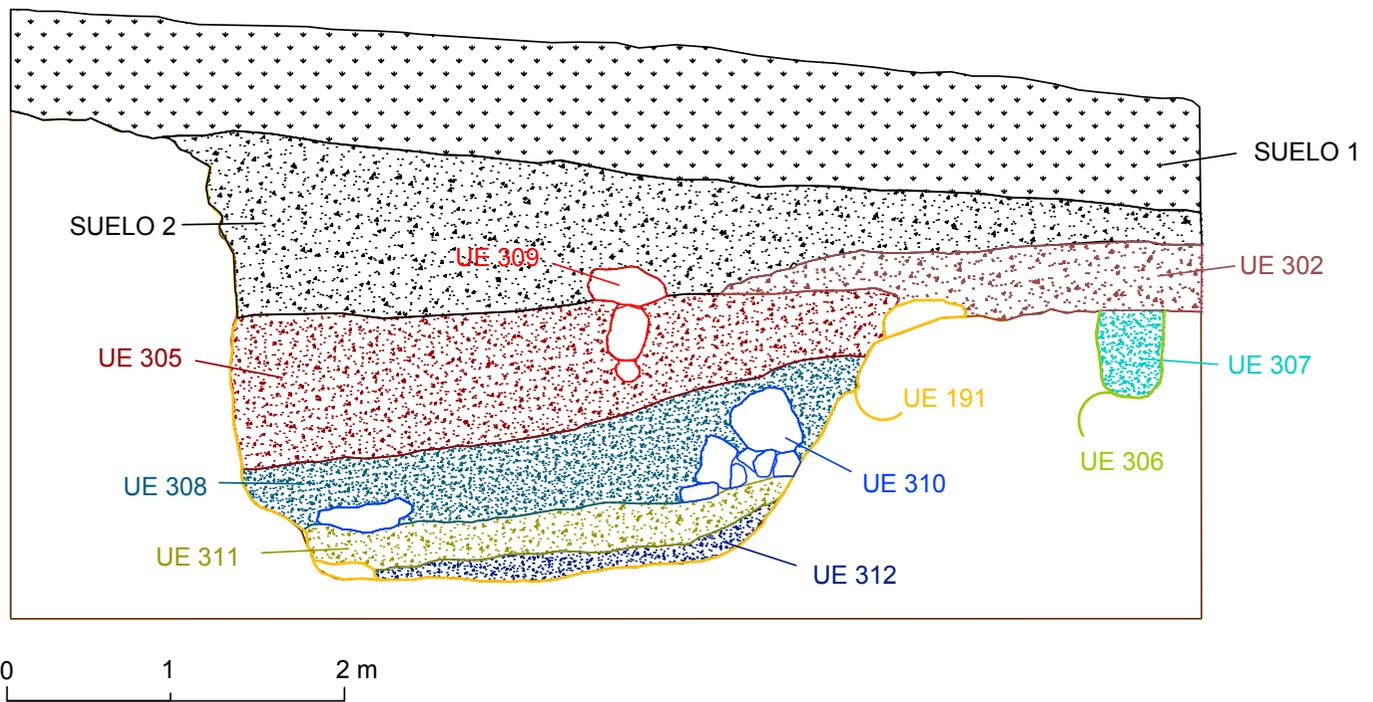
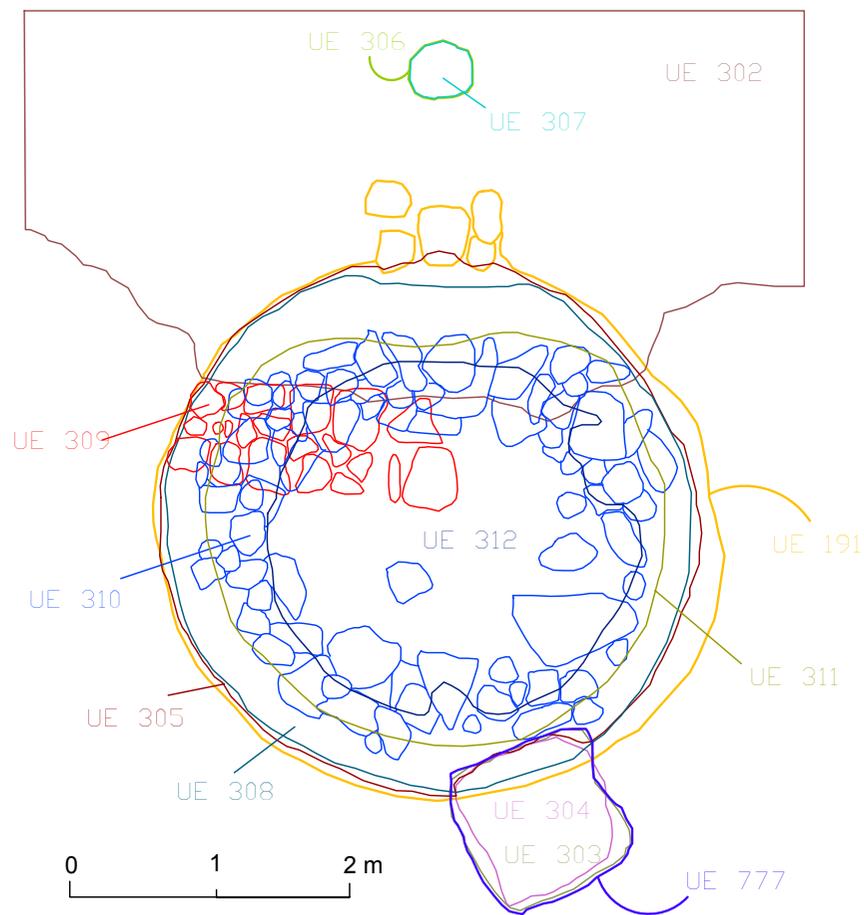
El horno de Montesa (UE 191) fue excavado en las margas y usado en al menos en una ocasión, pues quedan restos de la última cocción (UE 312) (Fig. 12). Su morfología nos ha permitido determinar que se trata de un horno de cal o calera tradicional, algo que también concuerda con la geología de esta zona, rica en piedra caliza (Fig. 13). De su construcción, uso, e integración en la sociedad rural de la época nos ocuparemos más adelante.



La identificación de esta estructura con una calera se ve soportada, además, por el tipo de combustible que fue utilizado en esa última cocción y que conocemos con precisión gracias al análisis antracológico de la UE 312 realizado por Yolanda Carrión Marco (véase el Anexo I). De esta unidad estratigráfica pudo ser recuperada abundante materia orgánica carbonizada formada, en su mayor parte, por ramitas de calibre entre 1 y 5,5 mm de diámetro. El conjunto de taxones, una vez analizado, nos remitió a la existencia de una formación de matorral bajo de tipo termomediterráneo dominado por leguminosas, labiadas y jaras. Los estudios antropológicos sobre el trabajo en los hornos de cal tradicionales nos remiten también al uso de este tipo de matorrales como combustible (Sanz, 2005, 63).

Gracias a un análisis de  $^{14}\text{C}$  hemos podido datar esta última combustión (UE 312). Gracias a ella hemos podido determinar que existen un 95% de posibilidades de que esta fase se encuadre en un momento entre 1690 y 1925, con un 74% de probabilidad de que la fecha real se encuentre en el intervalo comprendido entre 1810 y 1825. Esta información, sumada a la presencia de estructuras de la Fase III datadas en la década de 1850 y de varias capas de abandono (Fase II) entre la última combustión y los restos de la Fase III, nos puede permitir adscribir el horno y su fase de uso a los inicios del siglo XIX.

Figura 9.- Matrix Harris del horno



Figuras 10 y 11.- Planimetría y sección del horno de Montesa con todas las UE registradas

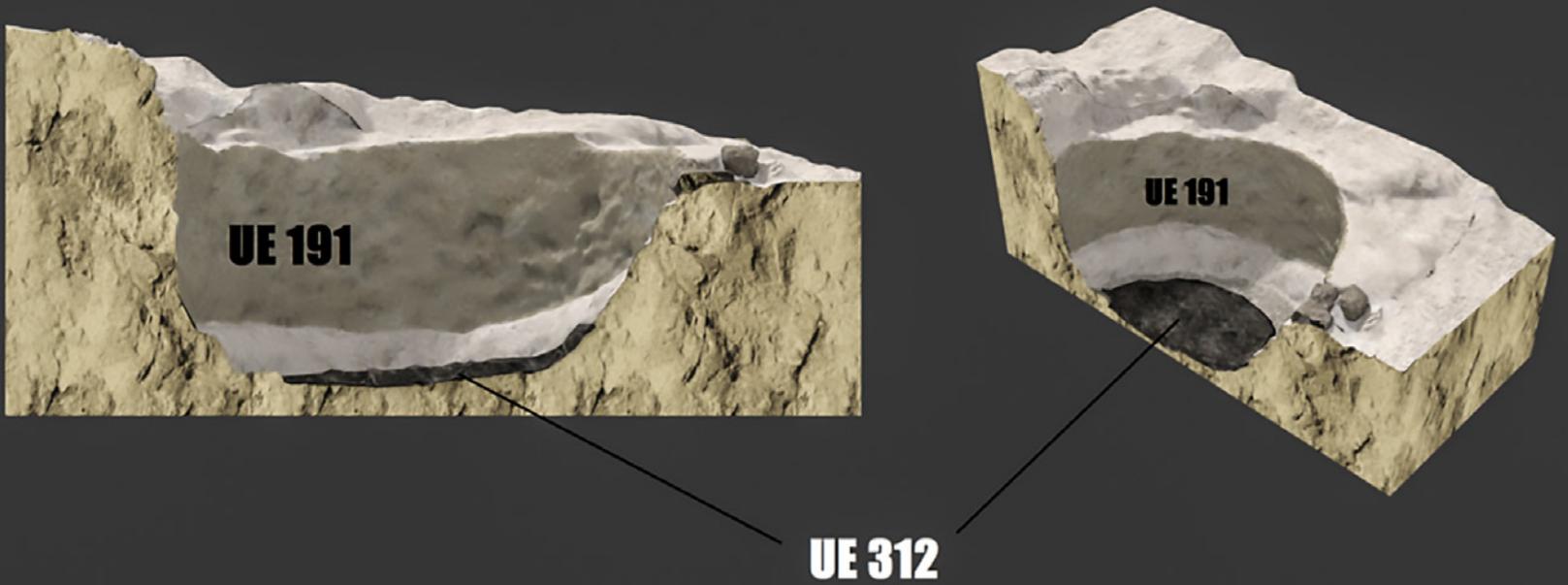


Figura 12.- Sección de la estratigrafía de la Fase I en dos vistas diferentes



Figura 13.- Reconstrucción de la Fase I: construcción y uso del horno

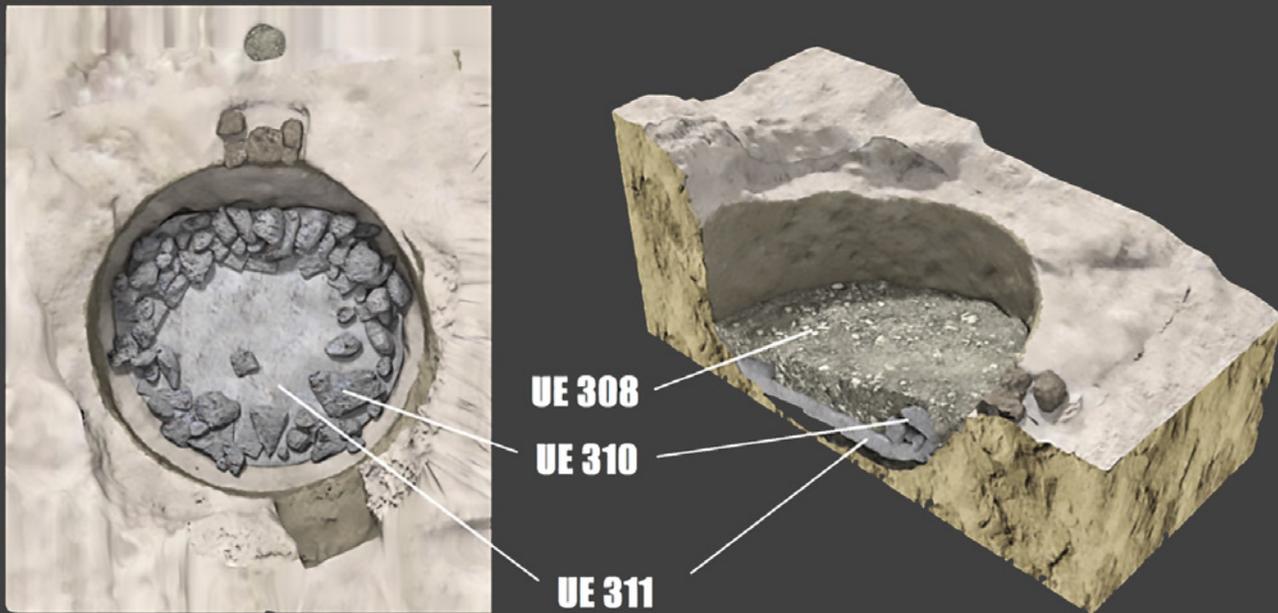


Figura 14.- Ortofoto del modelo tridimensional de la estratigrafía de la Fase II antes de la deposición de UE 308. Derecha: sección de la estratigrafía de la Fase II.

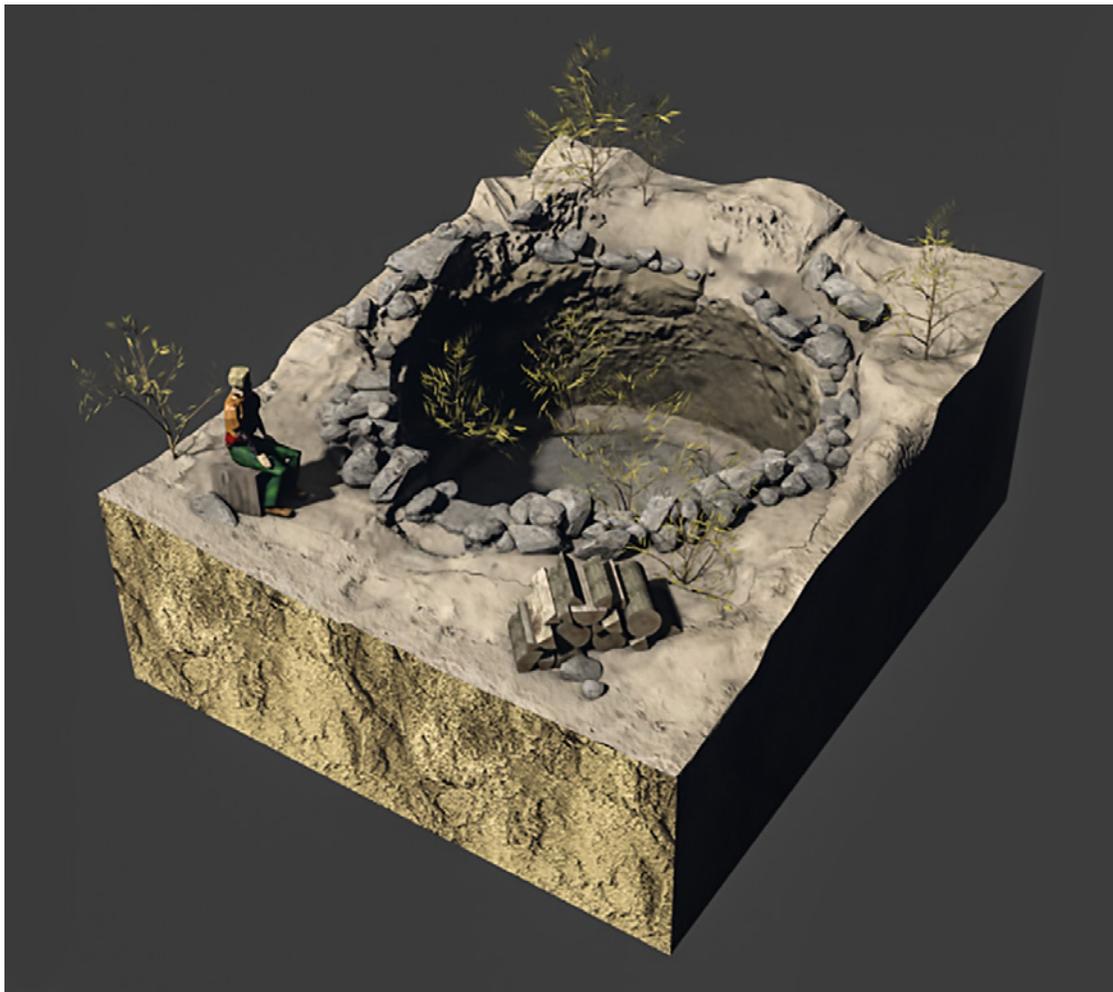


Figura 15.- Reconstrucción de la Fase II antes de la caída de las últimas rocas que formaban los muros del horno

## Fase II: Abandono del horno

Posteriormente hemos documentado una fase en la que el horno es abandonado y el estrato de carbones de la última cocción (UE 312) se cubre lentamente por una capa de la tierra calcárea que rodeaba la estructura (UE 311), (Fig. 14).

En este momento todavía se encontraría en pie la parte baja de los muros del horno (Fig. 15) que, poco a poco, fue desprendiéndose dentro de la estructura formando un nuevo nivel, en este caso de rocas (UE 310). Éste fue cubierto a su vez por otra capa de tierra (UE 308) que probablemente se formaría lentamente debido principalmente a la acción del viento y la lluvia.

En este último nivel (UE 308), se encontraron algunos fragmentos cerámicos comunes con decoración de manganeso de época bajo medieval. En un principio se pensó que podrían aportarnos la fecha *ante quem* del horno, teniendo que ser éste de cronología anterior a la Baja Edad Media. Sin embargo, los análisis de  $^{14}\text{C}$  posteriores, como ya hemos apuntado, desechan esta teoría, al fechar el horno en época contemporánea. Estos fragmentos deben ser sin duda material removido y arrastrado desde niveles superiores.

## Fase III: Cobertizo (hacia 1850)

Sobre el último nivel de abandono se documenta otro estrato de gran potencia (UE 305) formado también por tierra de la zona. Se trata probablemente de la capa usada para nivelar el orificio del horno, que ya se encontraba semicubierto, y aprovechar parte de sus paredes para cimentar un muro (UE 309) que probablemente perteneció a un cobertizo realizado para servir de cobijo a los trabajadores que se encargaron de levantar las vías de ferrocarril en el siglo XIX (Fig. 16).

Se trata de un murete de orientación este-oeste, de 1,70 m de longitud, de obra seca, realizado con mampuestos irregulares dispuestos en hiladas dobles, conservándose un máximo de dos. Su extremo este se apoya en la pared del horno mientras que su extremo oeste, en cambio, hunde sus cimientos dentro de UE 305 hasta una cota más profunda.

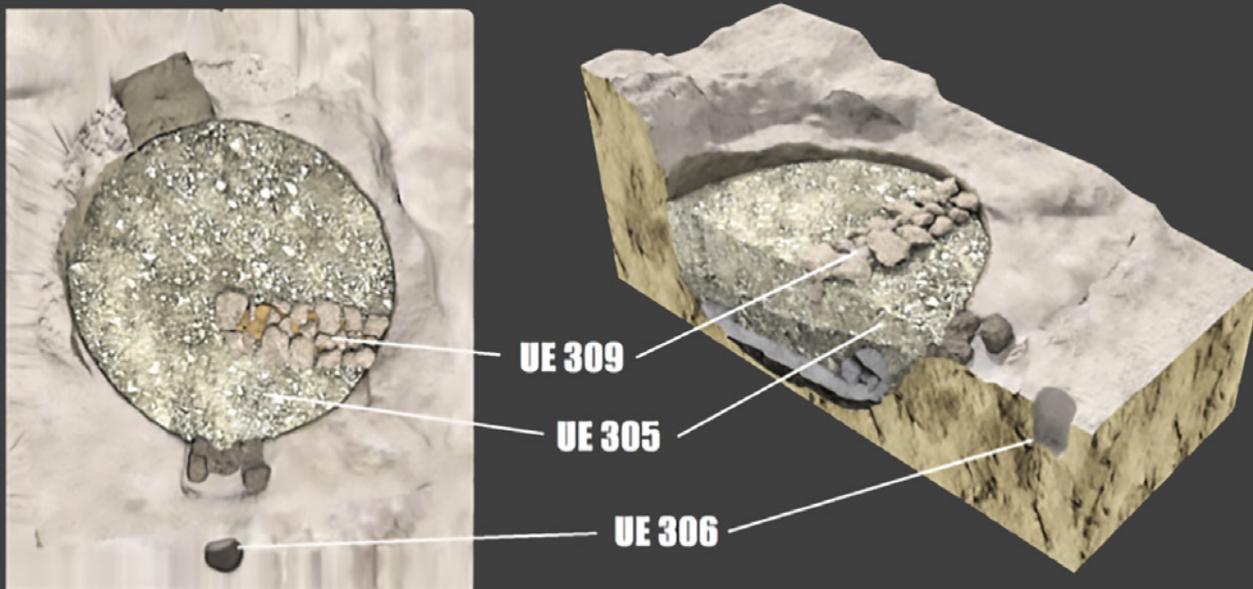


Figura 16.- Vista cenital y sección de la Fase III

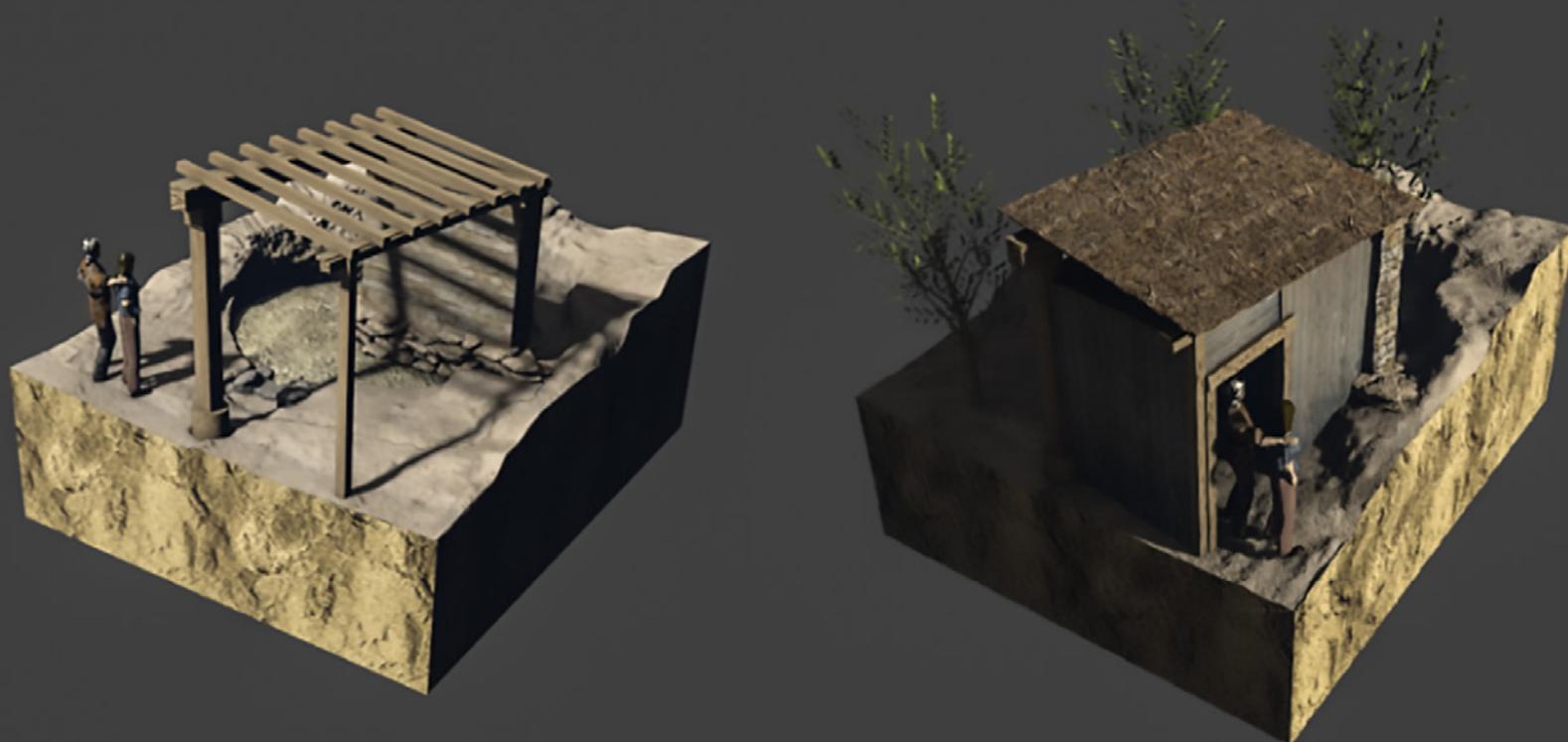


Figura 17.- Reconstrucción de la caseta del siglo XIX que fue levantada en la Fase III. Izquierda: momento de la construcción donde se aprecia el muro cimentado y el poste inserto en el orificio UE 306. Derecha: reconstrucción final de la caseta.

La pequeña fosa UE 306 es probablemente el orificio para un poste relacionado con el muro UE 309, y por lo tanto, con el cobertizo que hemos documentado en esta fase (Fig. 17).

La Comunitat Valenciana, a mediados del siglo XIX, daba sus primeros pasos hacia una incipiente industrialización. Para empezar a dotar el territorio de un buen sistema de infraestructuras de comunicación, resultó un paso decisivo la inauguración, el 1 de noviembre de 1858, del tramo de ferrocarril entre la Alcudia de Crespins y Moixent que formaba parte del gran proyecto para hacer llegar las primeras locomotoras «de la Corte al Mediterráneo». De esta forma se buscaba unir el pujante puerto del Grao de Valencia con las tierras del interior y así incentivar el comercio valenciano. Es en este contexto en el que podemos incluir el uso de esta caseta (Cotino, Clausi, 2012, 10).

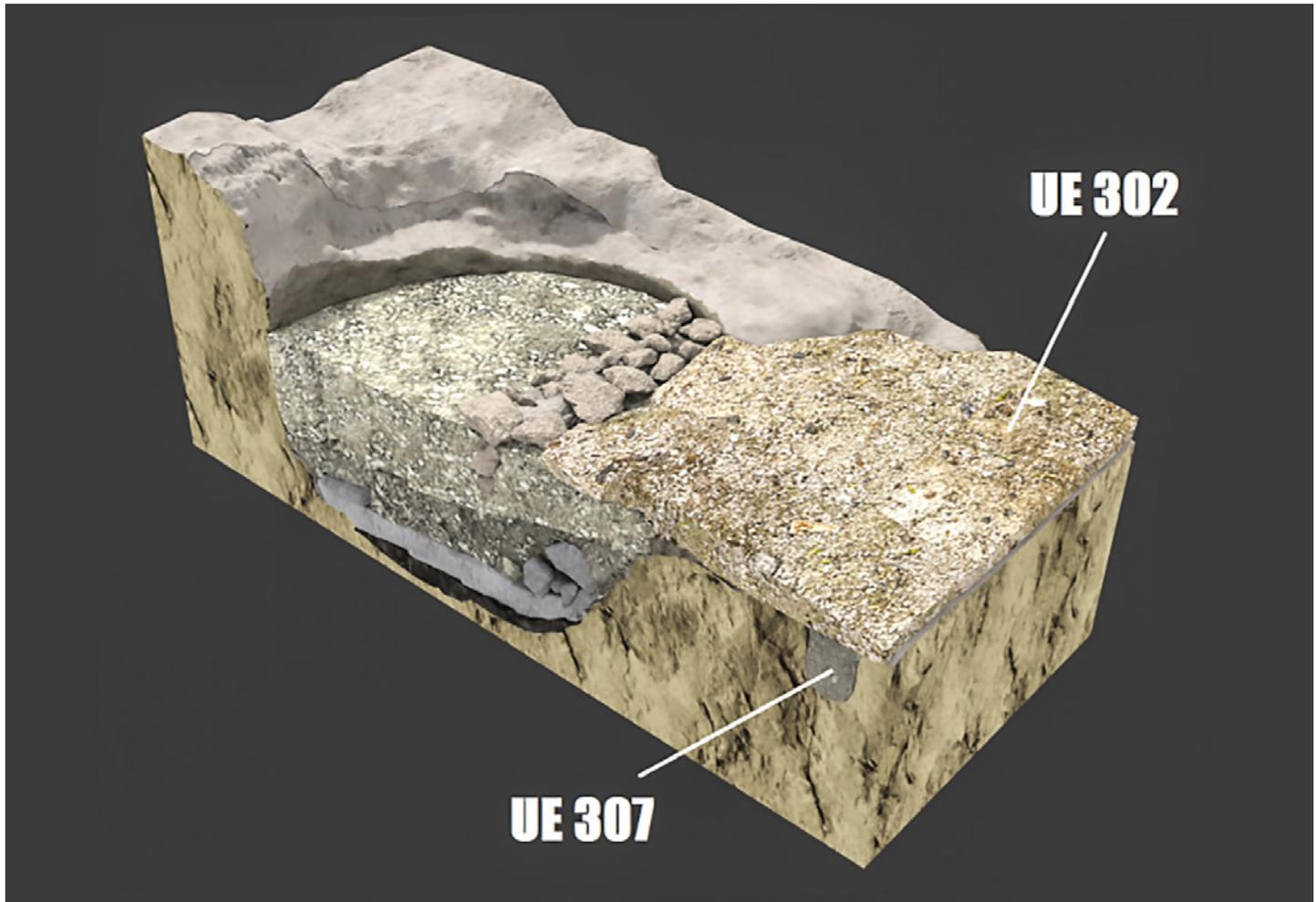


Figura 18.- Sección de la Fase IV. Se pueden observar las diferentes UE de abandono del cobertizo dieciochesco.

## Fase IV: Abandono del cobertizo

Posteriormente fueron documentadas una serie de unidades estratigráficas que se corresponden con el abandono de esta estructura, que fue desmantelada. Así, la fosa UE 306 donde se había encastrado un poste se colmató de tierra (UE 307) y posteriormente se cubrió lo que había sido el interior del cobertizo y el área al sur del mismo (UE 302) (Fig. 18). En este estrato de tierra fueron encontrados fragmentos de cerámica bizcochada, loza blanca (Fig. 19) y cerámica de cocina vidriada de color naranja, muchos de ellos coincidentes con una cronología del siglo XIX pero otros de tipología medieval, siendo así un depósito compuesto probablemente con tierra extraída de la propia excavación de la vía de ferrocarril. Lo poco que se podía apreciar del antiguo horno y de esta caseta acabó siendo cubierto por otro estrato de tierra superficial (Suelo 2).

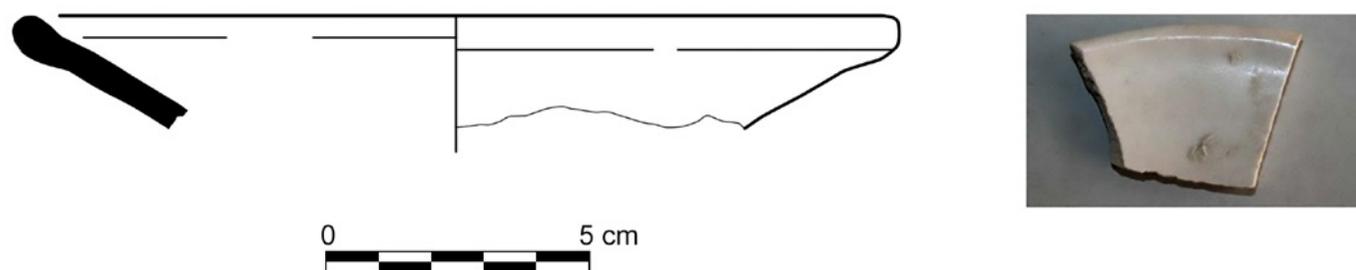


Figura 19.- Perfil y fragmento de loza blanca, probablemente del siglo XIX

## Fase V: Uso agrícola del suelo I

Estas dos últimas fases se corresponden con el uso del suelo desde finales del siglo XIX y durante todo el siglo XX. Están ya desvinculadas del horno de cal y en ellas se han podido documentar evidencias de al menos dos momentos de uso agrícola del terreno.

A esta fase se vincula una fosa (UE 777) y sus rellenos (UE 303 y 304). Esta fosa corta al Suelo 1, a la estructura del horno (UE 191) y a la propia roca madre (UE 349) y se trata probablemente de una fosa abierta para la plantación de un árbol (Fig. 20).

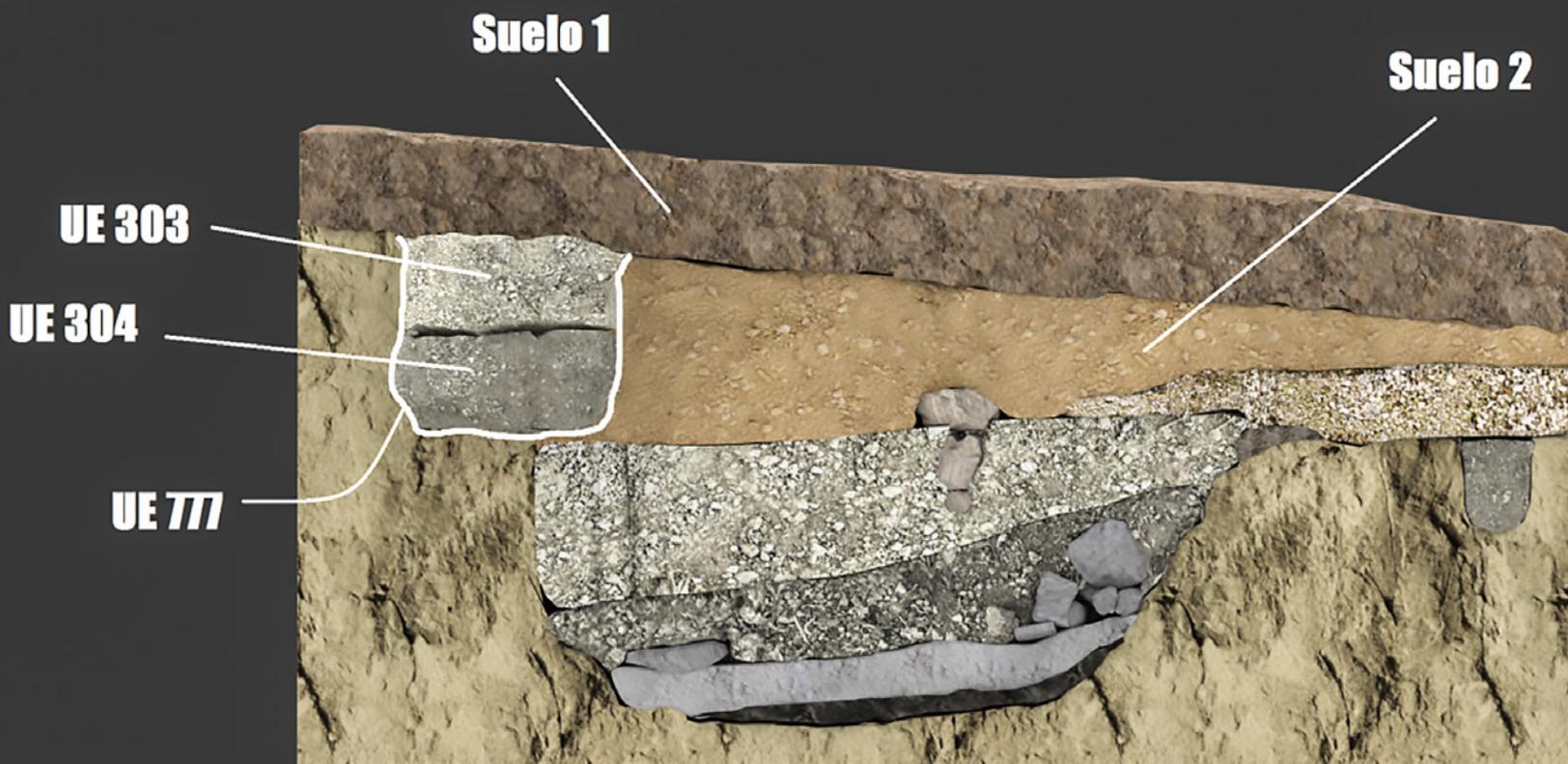


Figura 20.- Sección estratigráfica donde se representan las UE de la Fase V y Fase VI, además de Suelo 2, cortada por la fosa UE 777

### Fase VI: Uso agrícola del suelo II

La última fase documentada es el Suelo 1 que se corresponde con los cultivos de naranjos. Estos fueron retirados con máquina durante la excavación (Fig. 21).



Figura 21.- Reconstrucción de la última fase, caracterizada por el cultivo de naranjos

# EL HORNO DE MONTESA: UN EJEMPLO DE HORNO DE CAL TRADICIONAL

Después de repasar el contexto estratigráfico en el que se encuadra el horno de Montesa, es el momento de centrarnos en la Fase I (construcción y uso del horno), la cual nos permite conocer un poco mejor la historia preindustrial del municipio de Montesa. Encontramos aquí un ejemplo de cómo la arqueología puede ayudar a conocer mejor la historia contemporánea: el trabajo de la cal no aparece referido en los estudios históricos sobre la población; no encontramos ninguna mención a los caleros de Montesa ni en la obra de Josep Cavanilles (1795-97, 310-313), ni en los trabajos del propio Madoz (1845-50, 554-555).

Como ya hemos indicado, la investigación morfológica de esta estructura de combustión y su confrontación con estructuras similares nos han permitido afirmar que se trata de un horno de cal o calera (Fig. 22). Las razones que nos llevan a proponer esta hipótesis son varias:

- 1.- La presencia de un pequeño resalte en la parte baja de los muros interiores, que sirve para dar comienzo a la construcción de la bóveda y que no es común en otro tipo de hornos de este tamaño.
- 2.- La situación del horno excavado en una ladera y encarado hacia el sur.
- 3.- La total ausencia de restos cerámicos relacionados con los hornos de cocción cerámica.
- 4.- La inexistencia de parrilla ni de ninguna evidencia arqueológica que nos indique que ésta existiera alguna vez.
- 5.- El tipo de combustible de la última cocción, fundamentalmente matorrales bajos de tipo mediterráneo.

## EL TRABAJO DE LA CAL

«Resulta difícil imaginar cuando alguien ve los restos abandonados de los hornos de cal, que tan sólo varias docenas de años atrás ocupaban a una gran parte de las familias del pueblo. Un pasado muy cercano que poco a poco se

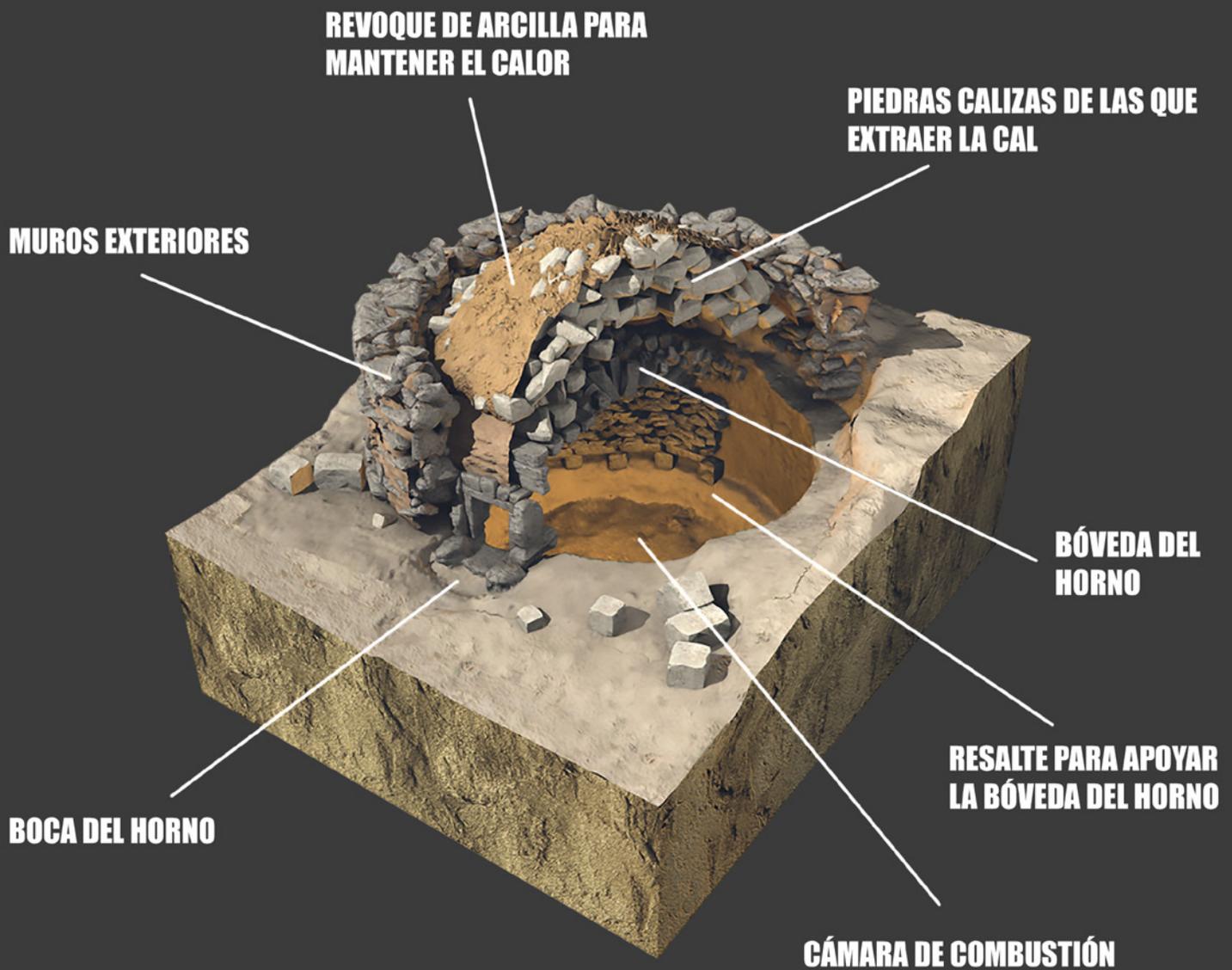


Figura 22.- Reconstrucción en 3D del Horno de Montesa. Se explican las partes de un horno de cal tradicional.

entierra junto con lo que queda de los hornos. Una memoria que merece la pena ser rescatada de este olvido al que se enfrenta, cuyo peor enemigo es el desconocimiento, en la mayoría de los casos carente de documentos o testimonios que lo atestigüen». (Quintana, 2005, 95).

Uno de los objetivos principales de este trabajo es recuperar la memoria de una actividad preindustrial que, como dice Quintana Frías, poco a poco va quedando sepultada en el olvido. Esperamos que la puesta en marcha no sólo de una investigación arqueológica e histórica del horno de Montesa sino también de su intervención y recuperación virtual permita precisamente «imaginar» con mayor facilidad cómo fue una parte de nuestro pasado rural.

El uso de la cal está atestiguado desde la Antigüedad y sabemos que ya era empleada en el ámbito de la construcción desde el Neolítico (Baila, Gómez, 2012, 11). Destacan, sin embargo, varias menciones que se hacen a los hornos de cal en las obras de Catón (De Agricultura, 38.1-4) y Vitruvio (De Re Aedificatoria 2.5, 5.12), principalmente argumentando cómo se debían levantar los hornos de los que se obtendría este material y constituyendo un reflejo de la importancia de esta industria en época romana.

La cal es el material resultante de la calcinación de piedras calizas, cuyo principal componente es el carbonato cálcico (según la reacción  $\text{CaCO}_3 + \text{calor} \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ ). Al ponerla en contacto con el agua se hidrata dando lugar a hidróxido cálcico o cal apagada, siendo ésta la forma más común de comercialización (Barbero, De Cárdenas, Maldonado, 2012). La cal fue el principal conglomerante de la construcción utilizado en mortero mezclado con arena (Sanz, Perosillo, 2005, 63) pero debemos tener en cuenta que el uso de la cal no se limitaba a labores constructivas, de blanqueamiento de viviendas o de tipo pictórico, sino que también tenía fines antisépticos (Baila, Gómez, 2012, 7; Lijó, Mongue, 2000, 50), por lo que su extracción, en épocas preindustriales y alejadas de la medicina que conocemos hoy en día, resultaba de gran importancia.

Estos hornos de cal tradicionales eran normalmente el centro de pequeñas empresas familiares en cuyas tareas ayudaban trabajadores a jornal, por lo general vecinos de los pueblos más cercanos (Lijó, Mongue, 2000, 153). El salario era miserable y, en cambio, el trabajo era terriblemente agotador: desde cortar grandes cantidades de maleza que serviría de combustible, romper y acarrear toneladas de piedra caliza, preparar el terreno y construir el horno, mantener encendida la caldera durante dos interminables días, etc. (Baila, Gómez, 2012, 7). Los propios *calciners* o caleros hablan en estos términos de su trabajo:

«Jamás quisimos que se extendiera entre nuestros descendientes, a pesar del arraigo que podía suponer, pues mi padre, como mi abuelo, bisabuelo, tatarabuelo, trastatarabuelo..., venían realizándola desde tiempo inmemorial». (Así lo reconoce Juan Vicente Gombau Drago, en Baila, Gómez, 2012, 7).

Se trataba de un trabajo normalmente anual, basándose en un ritmo invierno-verano bien marcado que condicionaba tanto el trabajo de la familia como sus ingresos (Lijó, Mongue, 2000, 155).



Figura 23.- Labores de desbroce y de recogida de la leña para su uso en los hornos de cal tradicionales de Vinaròs, que se mantuvieron en funcionamiento hasta mediados del siglo XX. (Baila, Gómez, 2012, 41).

Durante el invierno no era posible cocer piedra caliza en un horno de este tipo pues las condiciones climáticas, las precipitaciones y la humedad, difícilmente lo permitían. La maleza que serviría de combustible para el horno debía encontrarse totalmente seca a la hora de usarse, por lo que se comenzaba a recoger en invierno y se almacenaba a buen resguardo hasta el final de la primavera (Fig. 23). En invierno los caleros recorrían las sierras y campos cercanos a su lugar de trabajo recogiendo leña de arbustos que se cargaba en burros. No era extraño que los grandes propietarios permitieran el paso de los horneros a sus fincas en busca de leña ya que así obtenían gratis la limpieza de sus rastrojos que, más adelante, pudiera prevenir incendios. En otras ocasiones eran los propietarios los que se encargaban de desbrozar sus propiedades y vender después la leña obtenida a los horneros (Lijó, Mongue, 2000, 156). Este tipo de combustible, que ha sido

documentado arqueológicamente en el horno de Montesa, aparece también referido en otros estudios de tipo antropológico:

«El primer trabajo es recoger los fajos de arbustos que generalmente son utilizados como combustible, normalmente sarmientos, brezo, cepas, jara, ramas de olivo y todo tipo de arbustos que se encuentra en abundancia, dependiendo de la zona. Este tipo de combustible, además de ser frecuente en

nuestros campos, es muy apropiado para su uso, pues produce mucha llama y muy poca ceniza. Además de su uso como combustible, esta labor tenía la función de limpiar de matorral los campos y pinares, evitando en gran medida el inicio y la propagación de los fuegos estivales. Estos arbustos deben ser cortados y hacinados durante un par de meses antes para que se sequen totalmente». (Sanz, Perosillo, 2005, 63).

El trabajo de recogida de la leña se compagina, en los meses fríos del año, con el de la extracción de la piedra caliza, que se realiza en canteras o montes próximos (Lijó, Mongue, 2000, 156). Una vez extraídos los bloques de piedra, se subían encima de un carro o mulo y se transportaban hasta el horno (Baila, Gómez, 2012, 16).

Desde finales de la primavera y durante todo el verano, en cambio, se realizaba la construcción del horno y la cocción de la piedra caliza. Este tipo de hornos, al contrario que los hornos cerámicos, por ejemplo, debía montarse y desmontarse cada vez que se realizaba una cocción ya que gran parte de su estructura estaba construida con el material que acabaría convirtiéndose en cal. Esto influía tanto en los *forns efimers*, normalmente de pequeño tamaño y usados en pocas ocasiones para después ser abandonados, como en los *forns permaments*, elaborados para ser aprovechados a largo plazo y usados durante años (Baila, Gómez, 2012, 17). Es probable que nuestro horno fuera uno de estos últimos, a la luz de sus grandes dimensiones y de los restos, tanto de cenizas como pétreos, que se han encontrado en su base. Que un horno fuera efímero o permanente no cambiaba realmente su morfología sino su tamaño y resistencia.

A la hora de construir el horno, los caleros preferían disponer de una zona con pendiente para protegerse del viento, sobre todo del más frío que podía venir desde el norte, pero también para tener más facilidades a la hora de levantar la parte más alta de la bóveda de piedra caliza (Rosell, Subirats, 1987, 6). Esta circunstancia se da también en el horno de Montesa, que fue excavado en una ligera pendiente encarada hacia el sur.

La disposición de la piedra se hacía normalmente por tamaños, realizando la falsa bóveda con piedras calizas de gran tamaño y colocando progresivamente el resto según éste disminuía (Lijó, Mongue, 2000, 156). Al llegar a cierta altura no se puede seguir construyendo desde la puerta y el interior, por lo que es necesario subir a la parte superior y seguir construyendo el



Figura 24.- Uno de los últimos caleros de Vinaròs colocando las piedras de la bóveda de un horno de cal. (Baila, Gómez, 2012, 42).

horno desde allí (Fig. 24). Durante este proceso, la caldera se llenaba de leña que hacía las veces de soporte mientras la falsa bóveda tomaba forma. La ventilación del horno se hacía, tanto por la pequeña puerta del mismo, como en ocasiones, por unos conductos subterráneos (Lijó, Mongue, 2000, 157). En el horno de Montesa no hemos detectado la presencia de estos conductos pero es probable que el humo saliera también desde la parte inferior de la caldera, justo por unos pequeños orificios sobre el resalte inferior, y ascendiera por detrás de la bóveda de piedra (Rosell, Subirats, 1987, 8). El trabajo de construcción del horno culminaba recubriendo sus paredes con una capa de arcilla que, una vez seca y cocida con el calor del propio horno, se endurece formando una capa que evita las pérdidas de calor (Baila, Gómez, 2012, 20).

El trabajo en el horno es muy duro y las cocciones, que debían llegar a los 900-1000 grados (Baila, Gómez, 2012, 11), pueden llegar a durar varios días. Para soportar este ritmo se establecen turnos de trabajo: durante tres o cuatro horas, día y noche, una pareja de trabajadores echaba leña en

el horno y controlaban que no se apagara nunca, mientras que otra pareja descansaba y esperaban su turno, quizás preparando más leña para ser introducida en el horno. Los trabajadores iban rotando sus labores durante estos días, normalmente muy calurosos (Lijó, Mongue, 2000, 158):

«El horno se rellenaba hasta colmatarlo, sobresaliendo por arriba más de medio metro. Los caleros debían de asegurar muy bien esta bóveda ya que si cedía durante la cocción todo el trabajo sería en balde. Una vez encendido el horno debía de ir ganando calorías poco a poco hasta las doce horas, es aproximadamente en este momento cuando la experiencia y la resistencia física del calero jugaban un importante papel. La temperatura de la caldera no podía descender, teniendo que arrojar a su interior de manera continuada durante las próximas veinticuatro horas más combustible. Día y noche se iban turnando los caleros». (Quintana, 2005, 99).

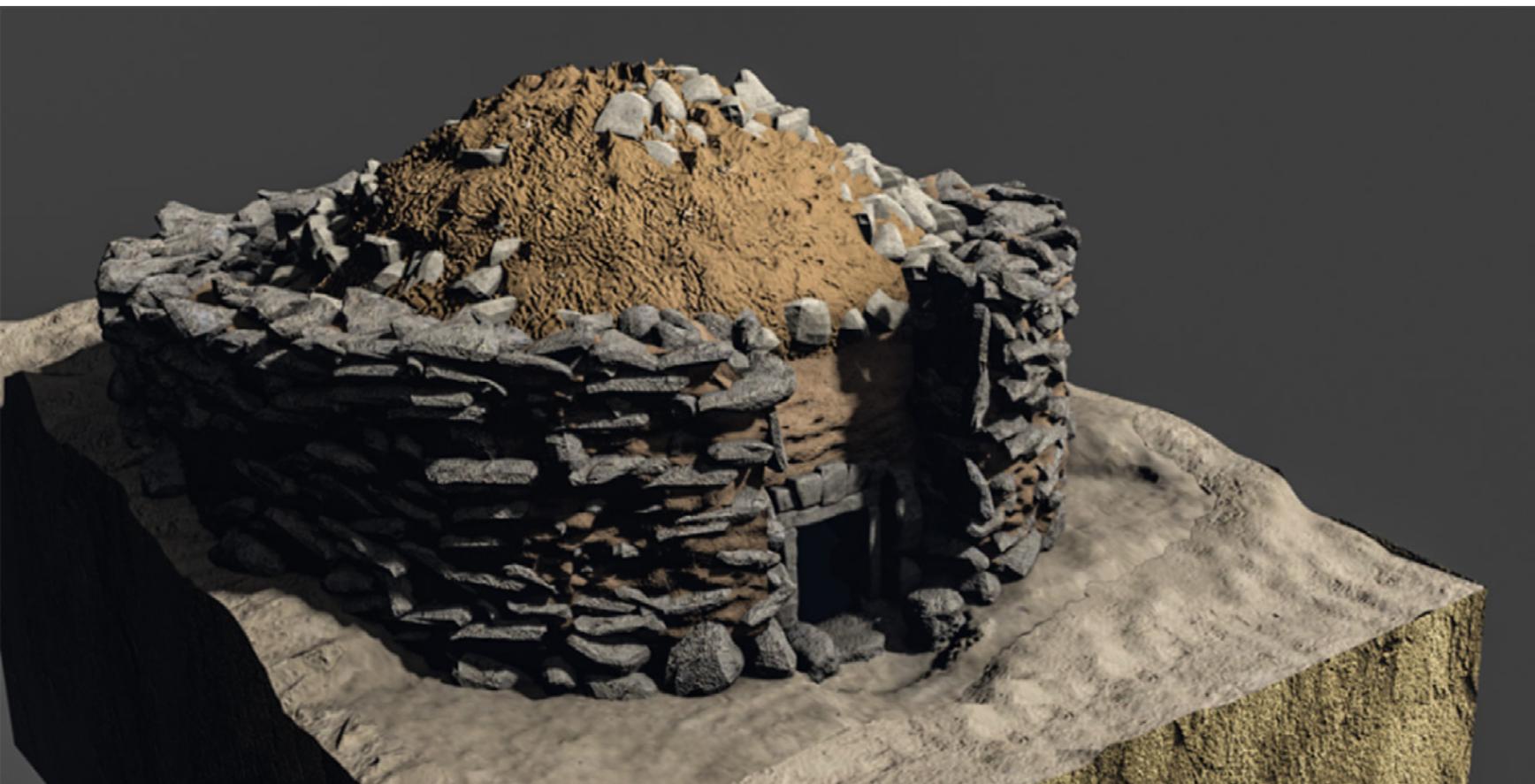


Figura 25.- Reconstrucción virtual del horno de cal de Montesa. Vista exterior.

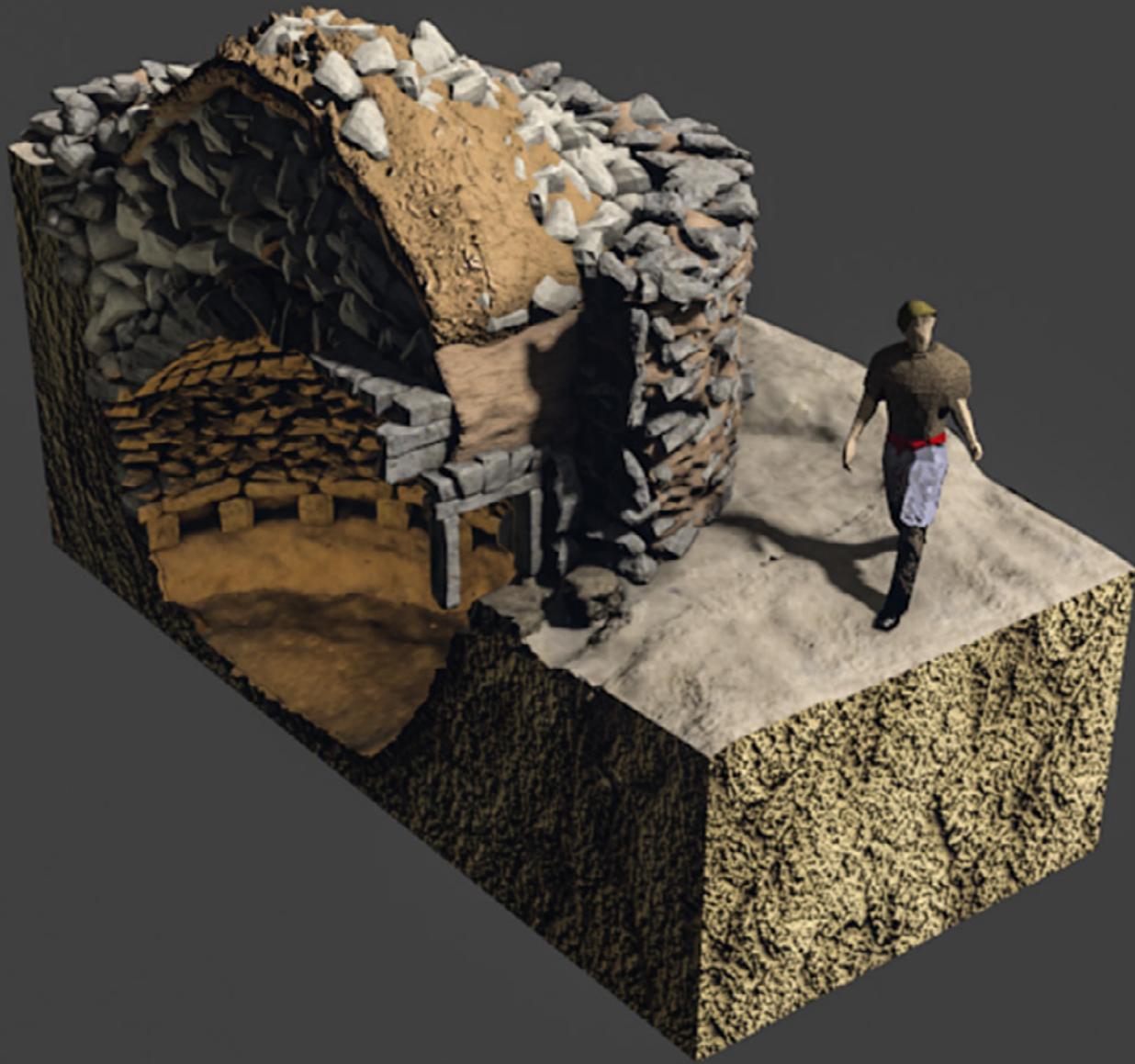


Figura 26.- Reconstrucción virtual del horno de cal de Montesa. Perspectiva de la sección.

Del horno se saca la cal una vez apagada, es decir, enfriada poco a poco con agua que se echa encima de la cal caliente en pequeñas cantidades hasta formar una masa viscosa y embreada que, al moverse, se va enfriando (Lijó, Mongue, 2000, 157).

Posteriormente se pregonaba a viva voz la venta de tal o cual tipo de cal, transportándolo en carros de mulos o recuas de mulas por toda la comarca. El propietario de los animales de transporte podía no ser el propio hornero, que en ocasiones vendía la cal al dueño de los animales para que la comercializara (Lijó, Mongue, 2000, 158-159). En otras ocasiones ya se había acordado la venta de la cal antes de producirla, de modo que se trataba de un trabajo que iba a tener retribución segura (Baila, Gómez, 2012, 19).

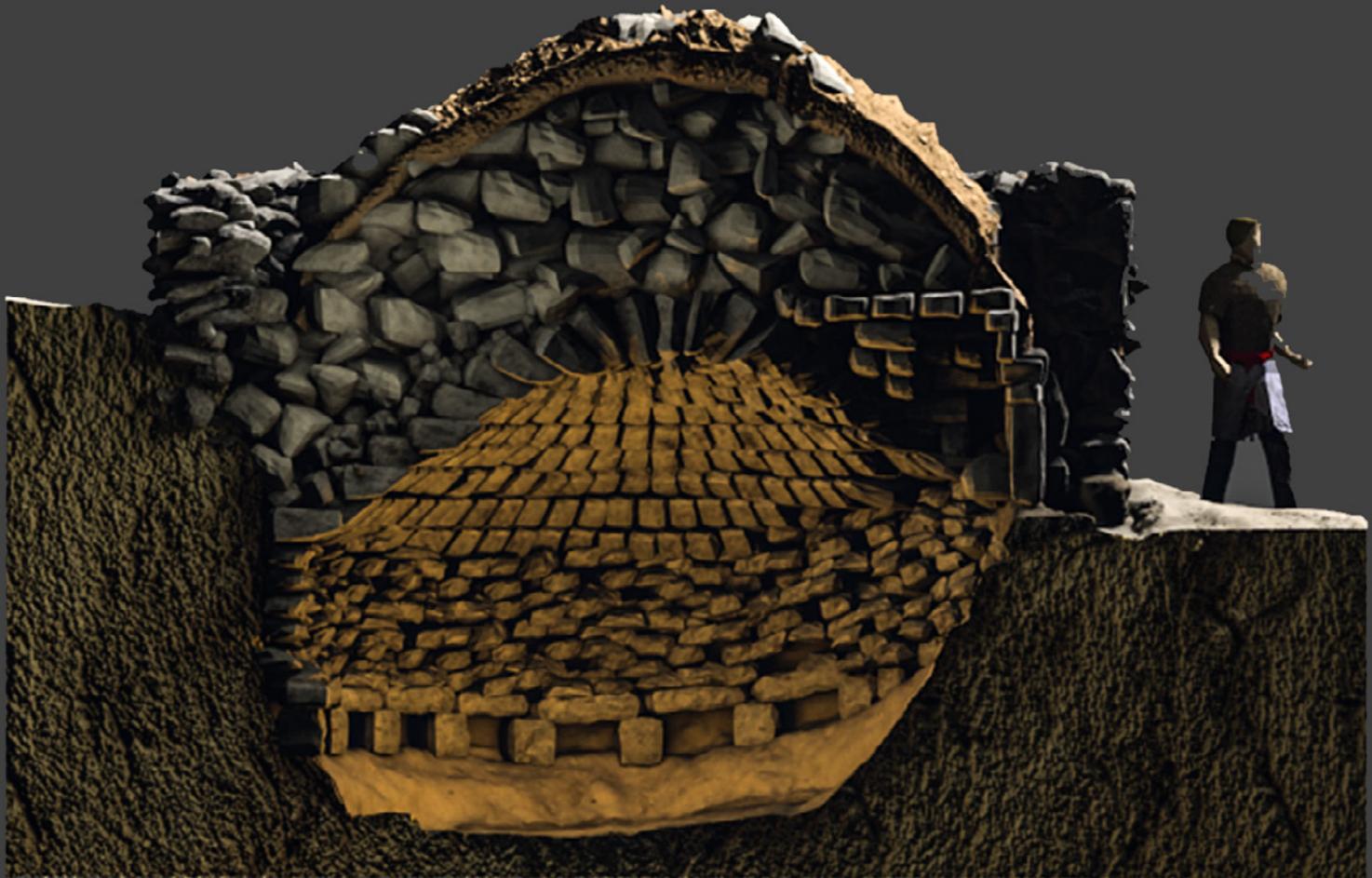


Figura 27.- Reconstrucción virtual del horno de cal de Montesa. Sección Norte-Sur.

Cerca del horno podían existir algunas pequeñas casetas o alacenas donde se guardaban las distintas herramientas de los caleros (Lijó, Mongue, 2000, 155). La falta de información arqueológica y la aleatoriedad de este tipo de estancias accesorias, nos ha llevado, por el momento, a no plasmarlas en la reconstrucción virtual, centrandó nuestros esfuerzos en la estructura de la calera (Figs. 25, 26 y 27).

La aparición y difusión del cemento —descubierto en Portland, Inglaterra, en 1824 (Sanz, Perosillo, 2005, 63)—, el descubrimiento de las pinturas plásticas y la mejora de las condiciones higiénicas de la población, fueron desplazando progresivamente, a lo largo del siglo XIX y XX, el uso de la cal y su producción tradicional (Lijó, Mongue, 2000, 154).

El proceso de construcción de un horno de cal puede ser recreado de forma interactiva en la aplicación El Horno de Montesa, que ha sido creada expresamente para ello (Fig. 28).



Figura 28.- Captura de pantalla de la aplicación "El Horno de Montesa" donde se ha recreado de forma virtual e interactiva el proceso de construcción de un horno de cal tradicional.



# Capítulo 2

## Arqueología virtual: metodología y principales líneas de trabajo



*«La evolución de las tecnologías de creación de modelos digitales de la realidad ha sido impresionante en la última década. La representación virtual de mundos reales o imaginarios es hoy un recurso común en muchos ámbitos de trabajo, con sorprendentes resultados en la industria del entretenimiento. [...] Aunque la visualización en 3D tiene un gran potencial, la realización de imágenes digitales es percibida hoy en día como un paso intermedio por los profesionales del patrimonio. Ahora nos estamos cuestionando el ir más allá de la simple visualización, buscando nuevas herramientas 3D que apoyen las investigaciones arqueológicas o histórico-artísticas».*

(Scopigno, 2012, 109)

La representación de aquello que los arqueólogos excavamos ha sido siempre uno de los puntos clave en el desarrollo de nuestro trabajo. Desde pequeños bocetos esgrafiados en los cuadernos de campo a imaginativas reconstrucciones históricas, pasando por precisas planimetrías, todos los hallazgos se han intentado reproducir de forma gráfica para ser conservados, explicados y difundidos.

En la última década, la evolución de las tecnologías de representación gráfica nos está mostrando territorios que hace unos años sólo podían ser imaginados y que, cuando se materializaban, ofrecían resultados bastante primitivos a un precio en ocasiones desorbitado. Esto hacía que los yacimientos que podían contar con una metodología de documentación 3D o presentar sus hallazgos mediante infografías tridimensionales fueran verdaderamente excepcionales, alejándose de la media. Actualmente, el estudio, interpretación y difusión de los trabajos arqueológicos se está rodeando de una serie de técnicas que por su precisión y espectacularidad son ya más que una moda. Todas ellas conforman una nueva rama de nuestra disciplina: la arqueología virtual. Este término fue propuesto por primera vez por Paul Reilly en 1991, refiriéndose al grupo de técnicas computacionales que permiten la visualización 3D y la representación virtual realista de objetos y edificios cuyos restos

hemos perdido o se encuentran en tan mal estado de conservación como para hacer imposible o muy difícil su interpretación (Reilly, 1991, 133-139). Hoy en día, sin embargo, esta definición resulta bastante incompleta. Lo que antes se refería a una representación puramente divulgativa, que permitiera entender restos mal conservados a aquellos no expertos en la materia, hoy alcanza unos límites mucho más ambiciosos: desde la propia documentación a la interacción con un mundo virtual, pasando por la creación de bases de datos dinámicas y la exploración de modelos tridimensionales de gran precisión. Hoy en día se puede definir la arqueología virtual como «[...] la disciplina científica que tiene por objeto la investigación y el desarrollo de formas de aplicación de la visualización asistida por ordenador a la gestión integral del patrimonio arqueológico» (IFVA, 2012, 13).

## ¿ES LA ARQUEOLOGÍA VIRTUAL UNA DISCIPLINA?

En el momento en el que nos encontramos, donde en muchos países todavía se siguen utilizando los medios de documentación arqueológica tradicionales (dibujo de campo, plomada y plumilla) frente a las nuevas técnicas como la fotogrametría digital, el dibujo de plantas sobre ortofotos georreferenciadas, etc., surgen en ocasiones muchas dudas y reticencias al hablar de arqueología virtual como una nueva disciplina que pueda discurrir pareja a otras como la geoarqueología o la arqueología de la arquitectura.

Creemos que, en efecto, nos encontramos ante una nueva disciplina que debe ser reconocida como tal para permitir su desarrollo y crecimiento dentro del ámbito de la metodología arqueológica. Es más, hay quien prefiere hablar de «virtualización del patrimonio», en sentido amplio, pues parece recoger mejor todo el campo de puesta en práctica de estas técnicas de visualización por ordenador, que también afectan a otros bienes patrimoniales no arqueológicos (artísticos, arquitectónicos, etnológicos, etc.). Las razones para hablar de la arqueología virtual como una disciplina en sí misma son varias:

- 1.- El crecimiento de la misma, desde finales de la década de los 2000, en torno a una serie de cartas internacionales que sentaron los principios éticos y profesionales de la disciplina.
- 2.- La creación de una serie de publicaciones y congresos específicos centrados precisamente en las técnicas de la arqueología virtual que sirven

para aunar los distintos trabajos de los profesionales que nos dedicamos a ella.

3.- el desarrollo de varios másteres, cursos, talleres, etc., centrados en la arqueología virtual que están consiguiendo crear una gran comunidad de expertos en la materia y dar a conocer al público interesado las distintas técnicas que la componen.

## LOS PRINCIPIOS DE LA ARQUEOLOGÍA VIRTUAL

Como se ha comentado hace poco, «[...] en contra de lo que se pueda pensar, la disciplina de la arqueología virtual nace con una cierta madurez conceptual. En estos pocos años de vida, en base a algunas experiencias fallidas, se ha conformado como una disciplina científica, dejando atrás la imagen que de ella tienen algunos como de un bonito juguete». (Grande, López-Lillo, Menchero, 2012, 30). Efectivamente, la arqueología virtual ha sabido crecer al amparo de un conjunto de cartas internacionales encargadas de proponer una serie de reglas específicas en el campo de la investigación, documentación y conservación del patrimonio arqueológico. Desde muy pronto se comenzó a pensar en la necesidad de sistematizar la virtualización del patrimonio, y con este fin surgió la llamada Carta de Londres para la visualización computerizada del Patrimonio Cultural (Denard, Hermons, 2009). Sin embargo, sería unos años después cuando la SEAV —Sociedad Española de Arqueología Virtual— se encargará de sentar las bases de una carta internacional particularmente centrada en la arqueología virtual que regula el ejercicio óptimo de esta disciplina: los Principios de Sevilla. Principios Internacionales de la Arqueología Virtual (IFVA, 2012; Grande, López-Menchero, 2012).

Si bien es cierto que no debemos tomar estos principios como unas reglas inamovibles para el desarrollo de nuestro trabajo, sí se trata de unas bases importantes para la puesta en común de un modo de trabajar que fomente las semejanzas y no las diferencias, abandonando en cierto modo la ley del oeste en la que cada profesional trabajaba de forma individual este tipo de técnicas, para comenzar a construir puntos de encuentro donde se compartan metodologías, herramientas, formas de trabajo, etc. Los Principios de Sevilla incluyen acertadas definiciones (arqueología virtual, restauración virtual, reconstrucción virtual, recreación virtual, etc.) y una serie de puntos consensuados entre el grupo de profesionales que desarrolló la Carta.

A lo largo de estos puntos se presentan una serie de recomendaciones para que los trabajos de arqueología virtual sean correctos: la necesidad de interdisciplinariedad, la reflexión sobre la finalidad de los mismos, la importancia del rigor histórico y de la transparencia científica, etc. El desarrollo de este documento explica en parte el crecimiento que la arqueología virtual ha tenido en nuestro país —y que ha sido mucho mayor que en otros países—.

## CONGRESOS Y PUBLICACIONES

De forma paralela a estas iniciativas metodológicas encargadas de reafirmar la arqueología virtual como un campo de investigación independiente, han surgido en estos años importantes revistas, entre las que destacan *Virtual Archaeology Review* o *Archeomatica*, dedicadas exclusivamente a temas de arqueología virtual, que buscan consolidarse como publicaciones de prestigio dentro de este campo.

Algunas de estas publicaciones han surgido también al amparo de congresos dedicados al uso de las tecnologías de representación gráfica en arqueología, como el CAA (Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology) o, directamente, a congresos, seminarios y encuentros dedicados a la Arqueología Virtual, como el Arqueológica 2.0 que organiza la SEAV (Sociedad Española de Arqueología Virtual).

Tanto las publicaciones como los congresos constituyen un paso adelante a la hora de permitir a los profesionales publicar sus trabajos y poner en común sus metodologías. Además, la misma naturaleza «digital» de la disciplina hace que esta se haya desarrollado en un ambiente donde se reivindica el libre acceso a la cultura y la publicación de bajo coste o gratuita (bajo subvención pública o por iniciativa propia de los autores) de actas de congresos, revistas digitales e incluso libros completos. Estos materiales se encuentran en internet poco después de su publicación a muy bajo coste, lo que permite un acceso a la información más inmediato y un avance de la investigación mucho mayor.

## MÁSTERES, CURSOS Y TALLERES

Algo fundamental para la consolidación de la arqueología virtual como disciplina en los últimos años están siendo todas las iniciativas de formación que han surgido para formar profesionales. Se trata fundamentalmente

de másteres y cursos que no se integran dentro de los planes oficiales de las universidades sino que surgen como herramientas de formación complementarias. Cabe destacar que gran parte de ellos son totalmente *online* o semipresenciales, lo que también está contribuyendo enormemente a la difusión de la arqueología virtual no sólo dentro de España sino también fuera de ella, por todo el mundo —en concreto, nuestros cursos de la UBU son accesibles a estudiantes de Hispanoamérica o de Portugal, por ejemplo—. Destaca el Máster en Arqueología Virtual de la SEAV, que apuesta por una formación más teórica; la Especialización en Virtualización del Patrimonio de la Universidad de Alicante, que muestra, sin embargo, unos contenidos más prácticos; los cursos *online* de introducción a la fotogrametría digital y su uso en patrimonio, y a Blender para la reconstrucción virtual del patrimonio que organizamos desde septiembre de 2013 en colaboración con la Universidad de Burgos; los talleres de formación presenciales que están llevando a cabo Marco Antonio Aza y Juan Diego Carmona con la Field School Alange; el taller de virtualización del patrimonio impartido por Pedro Peña en la UIMP; el aula taller *online* de virtualización del patrimonio organizado por Pedro Lucas Salcedo; etc. Como puede verse, la lista es interminable. Esto es señal de dos cosas: primero de que las técnicas de representación en 3D aplicadas a la arqueología constituyen una atractiva herramienta de futuro por la que están apostando buena parte de los técnicos arqueólogos, topógrafos y otros profesionales relacionados con el mundo de la Arqueología, y segundo que detrás de todo esto existe una amplia base para la creación de profesionales de la arqueología virtual que en el futuro se van a considerar como tal y que van a seguir extendiendo y desarrollando la disciplina.

## DOCUMENTACIÓN, ANÁLISIS Y DIFUSIÓN

Una de las características más importantes de la arqueología virtual es que sus herramientas intervienen en la gestión integral del patrimonio: desde su documentación mediante fotogrametría digital, escáner láser, etc., a su difusión mediante visores web, audiovisuales o motores de juego, pasando por el análisis de los datos recabados en *software* específicos tipo GIS o de diseño 3D y análisis de mallas, como Blender o Cloud Compare.

El presente trabajo muestra cómo se ha llevado a cabo la aplicación de algunas de las herramientas de la arqueología virtual al horno excavado en

las inmediaciones de Montesa. Para ello, debido a la gran cantidad de técnicas y enfoques que nos permite la arqueología virtual, hemos realizado una selección en base al tipo de estructura a estudiar y a los recursos de los que disponemos:

- Compararemos los modelos 3D del horno, realizados mediante escaneado láser y mediante fotogrametría, para analizar las diferencias entre ambas técnicas y sopesar sus pros y sus contras.
- Repasaremos la historia de la fotogrametría como técnica de documentación estratigráfica y modelaremos en 3D el contexto estratigráfico del horno para permitir una mejor interpretación del mismo. Esto nos permitirá también conseguir una eficiente divulgación no sólo de la interpretación histórica, sino también del propio trabajo estratigráfico del arqueólogo, en ocasiones muy poco accesible.
- Pese a que no trataremos aquí con detenimiento la historiografía de las reconstrucciones históricas, por tratarse de un ámbito más tradicional de la arqueología virtual, sí reconstruiremos las distintas fases arqueológicas, poniendo especial énfasis en la Fase I: construcción y uso del horno.
- Presentaremos el uso de los motores de juego para crear aplicaciones interactivas relacionadas con el patrimonio arqueológico. Posteriormente integraremos los datos estratigráficos e históricos de forma visual en una aplicación creada con un motor de juego que permita la visita interactiva del horno de Montesa.

## DOCUMENTACIÓN Y REGISTRO ARQUEOLÓGICO

Una de las líneas de trabajo en las que la arqueología virtual está teniendo un mayor desarrollo en los últimos años es en el de la documentación tridimensional. Estamos viviendo una rapidísima escalada de estas técnicas y tecnologías, que están superándose progresivamente en precisión y, al mismo tiempo, reduciendo su coste de uso de modo que su accesibilidad es también mayor. La mayor capacidad de los ordenadores personales, hace que la ingente cantidad de datos generada por los escáneres láser o el *software* de fotogrametría, sea también más manejable. Todas estas circunstancias, hacen que cada vez resulte más sencilla y sostenible la aplicación de la arqueología virtual de forma continua desde el inicio de la excavación.

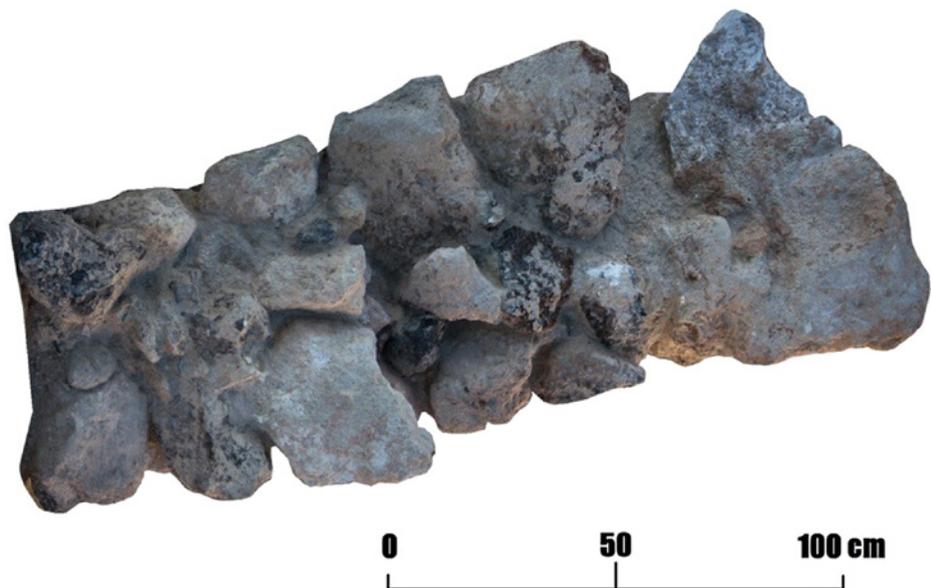


Figura 29.- Colocación del escáner láser en el campo para realizar el levantamiento 3D de una de las fosas. (Cotino *et al.*, 2012, 15).

En el yacimiento de Quintaret también se llevó a cabo la documentación de todas las estructuras negativas (silos, fosas, hornos) mediante el uso de un escáner láser FARO de gran precisión. Ésta fue una de las razones por las que nos inclinamos a estudiar esta estructura, dadas las posibilidades que nos ofrecía disponer del modelo tridimensional del horno de Montesa (UE 191), para trabajar dentro de la arqueología virtual: se trataba de un modelo geométrico preciso que permitiría reconstruir, tanto la estratigrafía excavada, como las diferentes fases de ocupación (Fig. 29).

Además, se llevaron a cabo ortofotos fotogramétricas de ésta y otras unidades estratigráficas, como la acumulación de rocas UE 310 o el muro UE 309, que nos han sido también de gran utilidad a la hora de reconstruir la estratigrafía tridimensional, por ejemplo (Fig. 30).

Figura 30.- Ortofoto del muro UE 309 perteneciente a la Fase III del Horno de Montesa. Formaba parte de un cobertizo del siglo XIX.



Por otro lado, gracias a las fotografías de la UE 191 que fueron tomadas durante la excavación, hemos podido reconstruir en 3D esta misma estructura del horno mediante fotogrametría, de modo que, como veremos en el siguiente apartado, podemos realizar la comparación entre el modelo fotogramétrico y el obtenido mediante el escáner láser.

Pese a que todavía no se ha consolidado el uso del formato PDF 3D en arqueología, creemos que las ventajas que tiene son numerosas. Entre ellas, destacamos las siguientes:

- Ofrece la posibilidad de compartir información tridimensional de forma comprimida, por lo que los archivos PDF 3D ocupan relativamente poco (el archivo del modelo fotogramétrico del horno ocupa 5,8 MB y el del láser 14,5 MB).
- Permite el acceso a un modelo 3D de forma interactiva a cualquier usuario que tenga instalado Acrobat Reader en su ordenador.
- Da la posibilidad de tomar todas las medidas que se deseen sobre el propio modelo escalado —precisa de Adobe Acrobat—.
- Pone a disposición del usuario diferentes vistas y secciones del modelo previamente programadas por el arqueólogo, permitiendo al usuario realizar sus propias vistas y secciones (Fig. 31).

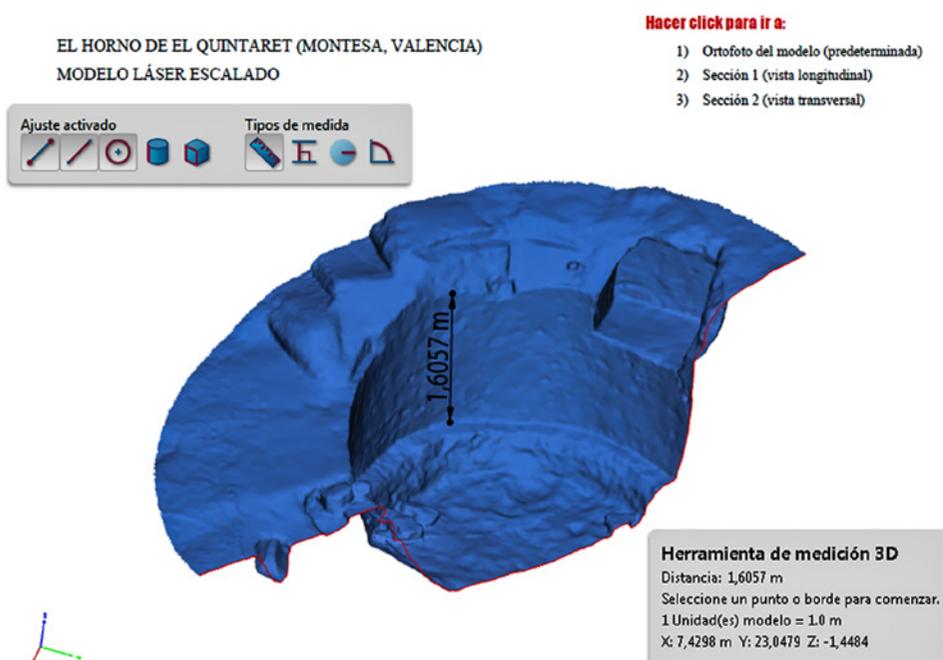


Figura 31.- Captura de pantalla del espacio de trabajo en el PDF 3D del modelo láser del horno de Montesa

De este modo, hemos generado dos archivos en los que se puede acceder de forma sencilla a tres vistas programadas (ortofoto vertical, sección longitudinal y sección transversal), así como tomar medidas sobre los propios modelos del horno o simplemente rotarlos, ampliarlos y observar los detalles que se desee de la propia malla 3D (Láms. 1 y 2).

Creemos que este tipo de formato ofrece unas posibilidades nunca vistas con anterioridad a la hora de dar acceso a la documentación arqueológica, haciendo accesible no solo ciertas secciones o vistas de determinadas estructuras, sino la completa documentación tridimensional de la misma, por lo que se ahorra en espacio y se ofrece un producto más completo.

Veamos ahora las diferencias que existen entre ambos modelos, el fotogramétrico y el láser, y las técnicas con las que han sido realizados. En el siguiente link se puede ver un pequeño vídeo que resume las diferencias entre ambas mallas:

## **El Horno de Montesa**

### **Escáner Láser VS Fotogrametría**

PABLO  
APARICIO  
RESCO



Vídeo 1.- Escáner vs. fotogrametría en el horno de Montesa

## “Fotogrametría involuntaria”. La aplicación *a posteriori* de técnicas fotogramétricas en el patrimonio histórico-artístico y arqueológico.

La fotogrametría digital terrestre es una técnica que todavía está dando sus primeros pasos en el mundo de la Arqueología. De forma resumida, consiste en la generación semiautomática de modelos tridimensionales a partir de fotografías (López-Lillo, Charquero, 2012; Pérez-García, Mozas, 2009; Fiorini, 2008; Buill, Núñez, Rodríguez, 2007; Caballero, Arce, Feijoo, 1996; Almagro, 1988). Hasta hace poco, se hacía impensable su aplicación práctica por la cantidad de precauciones de tipo técnico que había que tomar a la hora de realizar el levantamiento fotogramétrico: se necesitaba una precisa calibración de las cámaras, el cálculo adecuado de la posición de las mismas a la hora de tomar las imágenes, examinar las necesidades concretas de iluminación, etc. En definitiva: era necesario disponer de un conocimiento técnico, de un dinero y un tiempo, que se encontraba fuera del alcance de los arqueólogos.

Desde hace poco tiempo, la evolución de la metodología arqueológica y de los sistemas de análisis fotogramétrico, han propiciado la adopción de estas técnicas de forma habitual a la hora de registrar, desde materiales arqueológicos, a complejas estratigrafías. Sus mejores bazas son una gran precisión métrica y un coste económico reducido (Fig. 32).

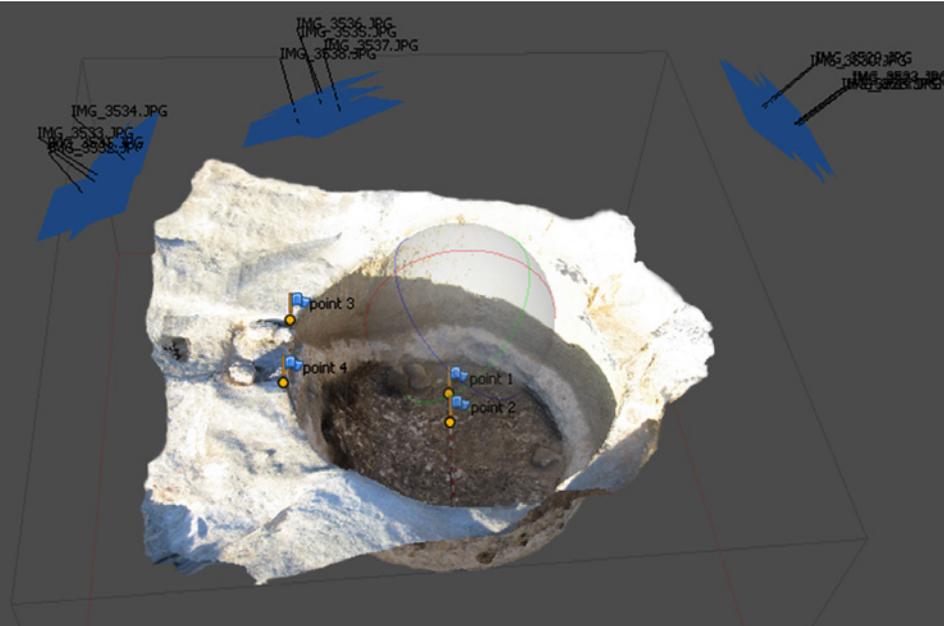


Figura 32.- Reconstrucción fotogramétrica del horno con la posición de las diferentes cámaras a la hora de ser tomadas las fotografías

La mayoría de los ejercicios fotogramétricos que actualmente se llevan a cabo en arqueología se basan en la estrecha colaboración con equipos de topógrafos —versados en estos conocimientos técnicos— o en la especialización de algunos arqueólogos que, gracias a la creciente accesibilidad y versatilidad del *software* fotogramétrico, han aprendido los pasos básicos para el correcto funcionamiento de estas técnicas.

En este apartado vamos a ir un paso más allá para demostrar que se pueden obtener unos resultados más que aceptables aplicando técnicas fotogramétricas *a posteriori*, es decir, basándonos en grupos de imágenes que en ningún caso fueron tomadas con el objetivo de servir para la creación de un modelo 3D fotogramétrico (Aparicio, Carmona, Fernández-Díaz, *et al.*, 2014).

¿Cuáles son las posibilidades de esta «fotogrametría involuntaria»? Primero, tomar conciencia de que muchos yacimientos que han sido excavados, sometidos a un buen registro fotográfico, y posteriormente destruidos, pueden ser reconstruidos gracias a la fotogrametría con un alto nivel de precisión, rescatando en ocasiones capas de información geométrica que ya nadie creía que se conservarían. Segundo, hacer pensar en las posibilidades que este tipo de fotogrametría tiene para la «recuperación» del Patrimonio que ha sido destruido de forma accidental o voluntaria: podríamos rescatar del olvido modelos tridimensionales muy precisos de iglesias que se han venido abajo por la acción de un terremoto o del abandono, dar de nuevo volumen a las ruinas de Libia o de Siria destruidas por la guerra, etc., todo ello contando únicamente con una docena de fotografías desde distintos ángulos de la misma pieza o estructura.<sup>1</sup> Y tercero, animar a los arqueólogos de hoy en día y del futuro, a aprender a usar la fotogrametría sin el miedo de necesitar unos conocimientos técnicos extremadamente elevados para poder obtener buenos resultados.

Pese a que pueda parecer una obviedad, es necesario resaltar que, en ningún caso, un modelo tridimensional puede sustituir a la estructura patrimonial original; por muy preciso que sea. Debemos tener en cuenta que la pérdida y destrucción de un resto arqueológico no puede ser subsanada de ninguna forma y deberá tratar de impedirse por todos los medios ya que,

---

1 El número de fotografías que son necesarias para poder realizar un levantamiento fotogramétrico depende siempre del objeto a representar. Es importante además, aclarar que la iluminación de todas las fotografías debe ser similar para que el *software* pueda detectar puntos afines entre las distintas fotografías; para ello lo más recomendable son las fotografías realizadas en días nublados.

pese a que dispongamos de un modelo preciso de la superficie del objeto, con la destrucción física del mismo se pierden muchas otras cualidades fundamentales e irrecuperables (el material del que está hecho, las geometrías de sus componentes internos, su contexto original y la relación con su entorno, etc.).

Por otro lado, creemos también imprescindible señalar que, si se quieren obtener unos resultados fotogramétricos óptimos, es necesario seguir una serie de indicaciones técnicas (análisis del objeto a fotografiar, situación de



Figura 33.- Grupo de 14 imágenes con las que ha sido realizado el levantamiento fotogramétrico del horno

los pares de cámaras, estrategia de toma de imágenes, iluminación necesaria, etc.) que no pueden obviarse y que se encuentran descritas en todos los manuales de fotogrametría. Los resultados obtenidos, tomando estas sencillas precauciones técnicas, son a todas luces superiores y aseguran una pérdida de información menor.

Para demostrar la relativa eficiencia de la «fotogrametría involuntaria», se ha llevado a cabo el levantamiento fotogramétrico del horno de cal. Hemos realizado un modelo tridimensional a partir de fotografías de la excavación que, en ningún momento, fueron tomadas con este fin. Se han usado, en concreto, 14 fotografías que han sido procesadas gracias al *software* fotogramétrico Agisoft PhotoScan<sup>2</sup> (Fig. 33).

Afortunadamente, como ya hemos indicado más arriba, disponíamos de un modelo tridimensional realizado mediante escáner láser de alta precisión por el Global Geomática S.L. y esto nos ha permitido comparar ambos modelos y comprobar así la precisión geométrica de la «fotogrametría involuntaria». Para ello se ha usado el *software* Geomagic Studio que permite el alineamiento de ambas mallas —la obtenida con el escáner láser y la obtenida

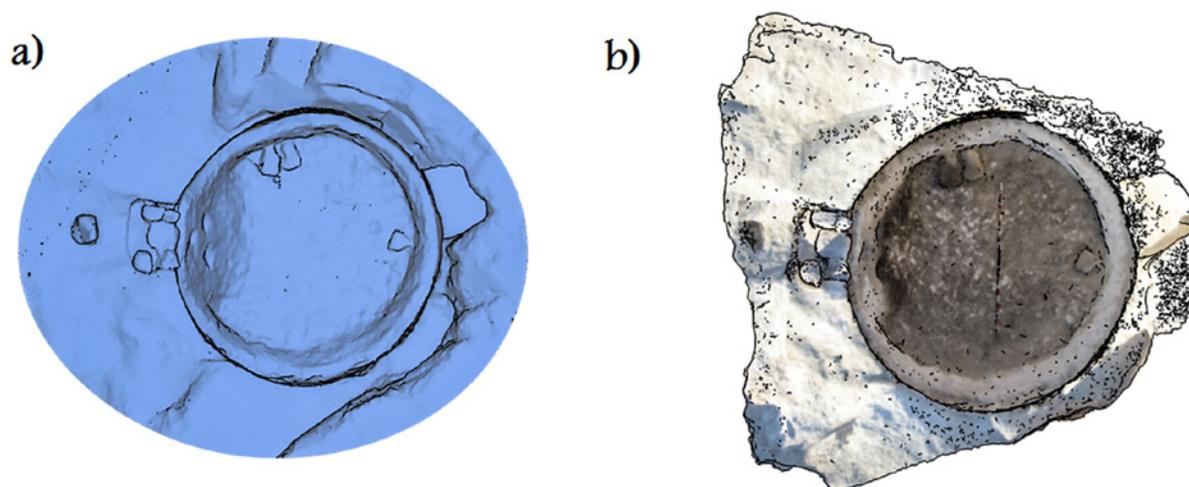


Figura 34.- Vista vertical ortográfica del modelo del horno realizado mediante el escaneado láser (a) y el modelo realizado mediante fotogrametría (b)

<sup>2</sup> Las fases de procesado se realizaron con los parámetros que siguen: 1) Alineado (*High, Generic*), 5 minutos, obteniendo una nube de 81988 puntos; 2) Construcción de la geometría (*Arbitrary, Smooth, Medium, 100000 faces, filter threshold 0,05*), 15 minutos; 3) Creación de la textura (*Generic, all pots, average, fill holes, 4096x4096, HDR 96 bits*), 1 minuto. Características del PC utilizado: Intel Core i3-2330M CPU @ 2.20 GHz, 6 GB de RAM.

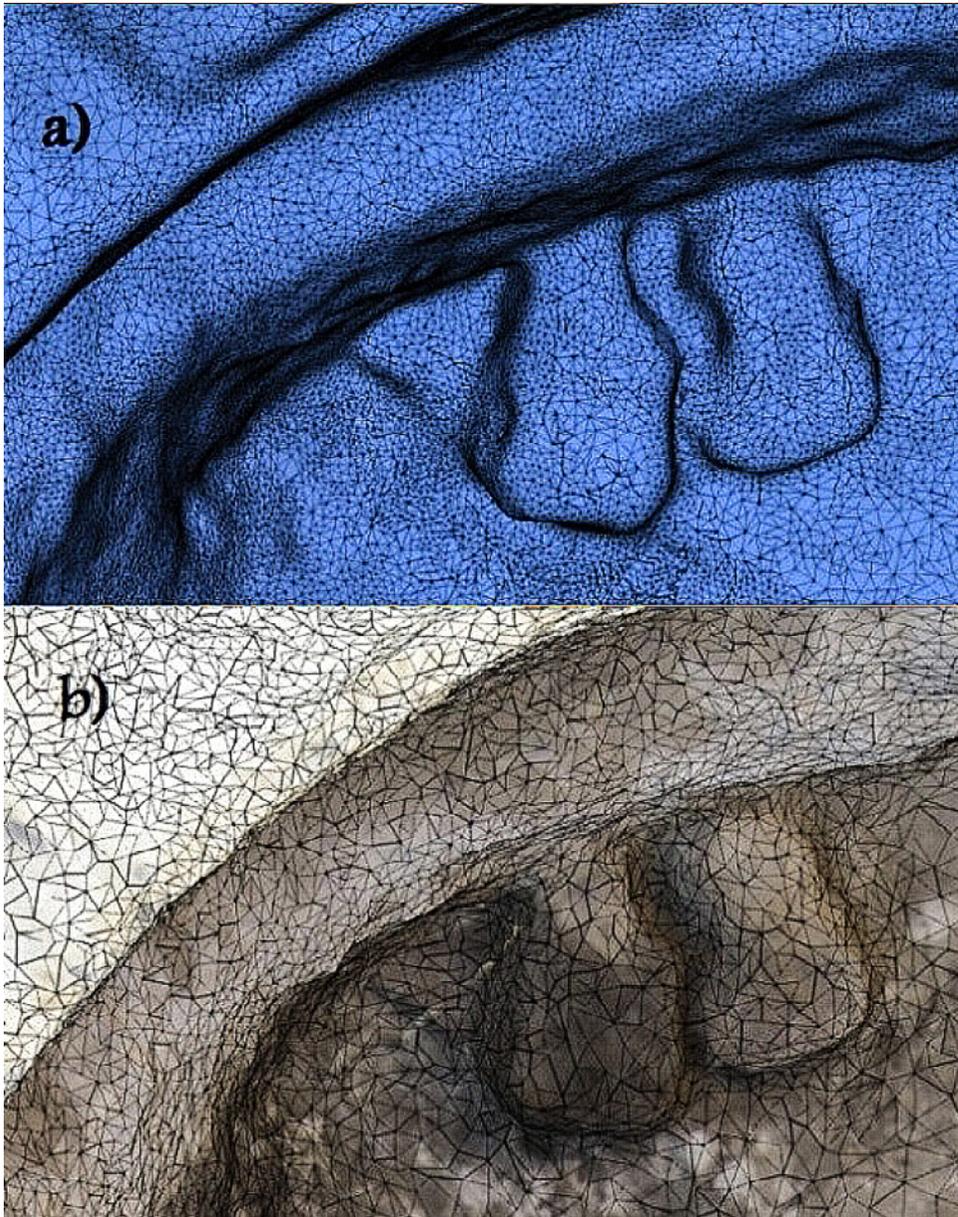


Figura 35.- Detalle de la geometría de una zona del horno. Podemos ver cómo las diferencias entre el modelo realizado con escáner láser (a) y aquel realizado gracias a la "fotogrametría involuntaria" (b) son mínimas.

mediante fotogrametría— y la posterior realización de un cálculo de desviación de los distintos puntos de una de las mallas con respecto a la otra (Figs. 34, 35 y 36).

Los resultados son reveladores y muestran que la mayoría de los puntos tienen una desviación inferior a un centímetro. Debemos tener en cuenta que la estructura de cocción estudiada tiene unas dimensiones superiores a los cuatro metros de diámetro, por lo que una desviación de un centímetro aproximadamente no resulta excesivamente elevada. Como se puede apreciar, las zonas de mayor desviación son precisamente aquellas donde los niveles de iluminación eran extremos, es decir, zonas con alto nivel de sombra o con una sobreexposición de luz. Estas áreas y las del extremo de la malla son

las que hacen que la desviación media que nos muestra Geomagic sea de 2,8/-3,1 cm; si las elimináramos, la media efectiva de desviación sería, como indicamos más arriba, mucho menor, y esto es lo que podemos apreciar en la mayor parte del modelo.

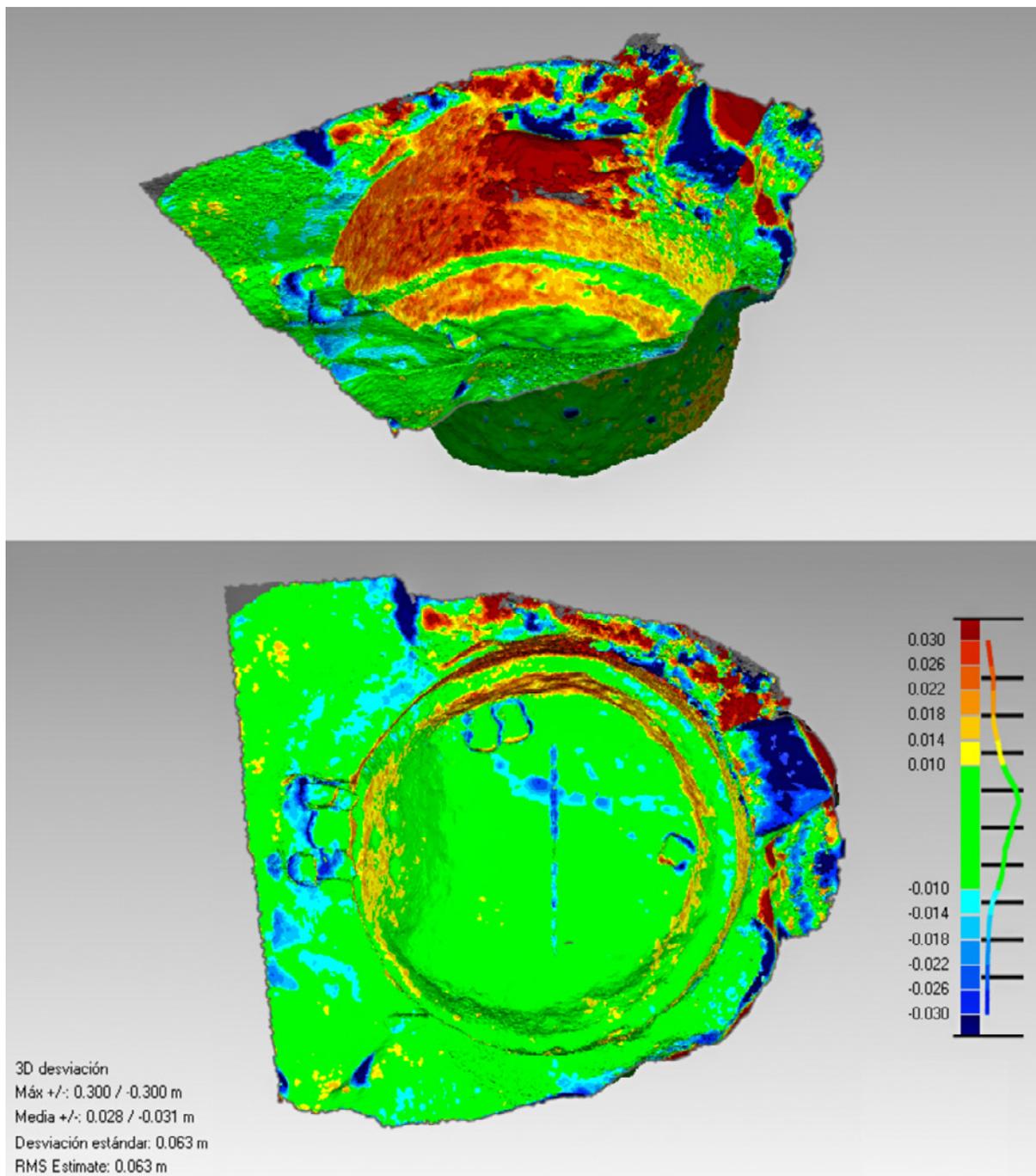


Figura 36.- Resultados del análisis de desviación de entre la malla creada mediante fotogrametría y aquella creada mediante escaneado láser

Poder disponer de un modelo tridimensional de esta precisión (con una desviación, en la mayoría de sus puntos, inferior a un centímetro) que no constituye solamente un capricho estético o vinculado únicamente a fines divulgativos: se trata, al fin y al cabo, de poseer un modelo geométrico que, como los modelos digitales del terreno (MDT), constituya «[...] una maqueta de la realidad en la que adquiere una especial importancia la conservación de las proporciones o relaciones espaciales relativas» (Farjas, Moreno, García-Lázaro, 2011, 142). Pese a que hay que destacar el potencial divulgativo, tanto del modelo en bruto como de las posteriores reconstrucciones, también debemos reivindicar el uso de estos modelos como recopilación científica de datos en 3D y como agentes clave en la transmisión de conocimiento histórico a las generaciones venideras (Tejado, 2005, 136).

Este ejemplo demuestra, además, las posibilidades que un modelo fotogramétrico correctamente realizado puede tener en los trabajos arqueológicos, llegándose a obtener una precisión muy cercana a la de los escáner láser a un precio a todas luces inferior. Los escáneres láser tienen una precisión en ocasiones milimétrica, pero debemos plantearnos si nuestro objeto de estudio realmente la necesita o si, por el contrario, es suficiente documentarlo con una desviación de unos pocos centímetros. Para ello podemos hacernos varias preguntas, ¿estamos ante una estructura que precisa un análisis concienzudo para la posterior realización de una correcta restauración? ¿Queremos realizar una copia exacta en otro material? ¿Se trata simplemente de un muro de mampostería convencional que va a ser desmontado? ¿Estamos ante una unidad estratigráfica producida por un derrumbe? Cada situación conllevará unas soluciones diferentes.

Para acabar este apartado, creemos que es necesario mirar hacia el futuro e intentar vislumbrar hasta dónde nos pueden llevar las posibilidades que el desarrollo de esta técnica nos propone. Quizás dentro de poco tiempo sea posible generar modelos tridimensionales relativamente precisos a partir de imágenes tomadas por cámaras diferentes en momentos distintos.

Un ejemplo práctico a este respecto se puede llevar a cabo, hoy día, desde nuestro ordenador personal: podemos acudir a internet, teclear «Templo de Atenea Nike» y seleccionar un grupo de fotografías de la galería de imágenes de Google que, una vez procesadas por un *software* fotogramétrico, den lugar a un modelo tridimensional semiautomático del famoso templo

de la Acrópolis.<sup>3</sup> Estamos en los albores de que esto sea posible y todo ello, contando cada vez con un menor número de imágenes, pues los *software* de procesado serán cada vez más potentes.

La técnica aquí propuesta, como ya hemos demostrado, nos conduce a la generación de modelos tridimensionales de piezas, edificios, yacimientos y lugares históricos que, antes de ser documentados con técnicas de generación de nubes de puntos, fueron destruidos, y de este modo podremos aumentar cualitativamente la documentación gráfica y geométrica de nuestro patrimonio. Posteriormente, es el análisis de todo este conjunto de información lo que nos permitirá obtener hipótesis históricas y, finalmente, transmitir ese conocimiento al conjunto de la sociedad.

## ESTRATIGRAFÍA EN 3D

Otro de los objetivos que impulsa este trabajo es el de intentar mostrar las posibilidades de disponer de la estratigrafía de un yacimiento completamente modelada en 3D. El proceso de modelado puede ser semiautomático —mediante fotogrametría o escaneado láser de cada unidad estratigráfica— o manual. Este último es el caso del horno de Montesa, ya que en el momento de la excavación no se hizo un levantamiento tridimensional de cada una de las UE.

Para encuadrar nuestro trabajo dentro del conjunto de estudios en torno a la documentación tridimensional de la estratigrafía, vamos a comenzar con un repaso historiográfico a este tipo de práctica.

### Breve historia de la estratigrafía en 3D

El trabajo de virtualización del registro arqueológico del horno de Montesa se encuadra dentro de un conjunto de iniciativas más amplio que, sobre todo durante los últimos años, trata de explotar todas las posibilidades de una

---

3 Nos hemos permitido intentar esta práctica pero, por la falta de buenas imágenes desde distintos ángulos o nuestra poca persistencia al buscarlas, sólo hemos podido reconstruir un 30% del modelo tridimensional del templo. Resulta revelador, sin embargo, que el *software* PhotoScan haya sido capaz de detectar cerca de 9000 puntos en común en un conjunto de 12 imágenes con características completamente diversas —tanto de iluminación, como de cámara, posición de ésta, etc.—. Esperamos que una futura evolución de este tipo de *software* pueda permitir hacerlo.

revolución metodológica en arqueología que se base en el registro arqueológico en 3D.

Durante las excavaciones llevadas a cabo en el yacimiento de Quintaret, no se realizaron escaneos láser o levantamientos fotogramétricos de todas las unidades estratigráficas de forma individual, por lo que no vamos a poder proponer la documentación de esta estructura como ejemplo de esta nueva metodología arqueológica. La encuadraremos, sin embargo, dentro de estas iniciativas por varios motivos:

- 1.- Puede constituir una nueva vía para recuperar y revisar estratigrafías interesantes de excavaciones antiguas que no hayan sido documentadas fotogramétricamente, traduciendo su bidimensionalidad en estratigrafía 3D gracias a los datos presentes en las fichas de excavación.
- 2.- Permite aplicar las mismas herramientas de análisis a las UE (medición 3D, cálculos de volumen, etc.), si bien teniendo siempre en cuenta que su método de documentación no ha sido fotogramétrico y que, por tanto, parte de su información geométrica es relativa.
- 3.- Se trata de una iniciativa con grandes posibilidades a la hora de ilustrar nuestros trabajos y divulgar la metodología estratigráfica en 3D y sus posibilidades.

Para encuadrar este trabajo de virtualización dentro de las iniciativas de documentación arqueológica tridimensional, creemos que es interesante y necesario retrotraernos en el tiempo e investigar cuáles fueron los orígenes y la evolución de las técnicas de documentación 3D aplicadas a la Arqueología.

Pese a que las técnicas fotogramétricas aéreas se utilizaron con anterioridad para la documentación de grandes sitios y áreas arqueológicas (Doneus, 1996), la documentación tridimensional del registro estratigráfico nace de mano de las técnicas fotogramétricas terrestres (López-Lillo, Charquero, 2012, 82). El escaneado láser, por su parte, no se ha llegado a usar para el registro completo de secuencias estratigráficas debido principalmente a dos de sus inconvenientes: su uso diario conlleva un gran desembolso de dinero y además genera nubes de puntos muy pesadas con las que se hace tedioso trabajar. Las técnicas fotogramétricas, sin embargo, tienen características distintas que han garantizado su uso en patrimonio desde hace décadas.



Figura 37.- El equipo de Antonio Almagro Gorbea preparando una bicámara para el levantamiento fotogramétrico del anfiteatro de Segóbriga en 1973. (Almagro, 1973, 45).

La fotogrametría se usa en arqueología ya desde los años setenta del siglo pasado, cuando encontramos una de las primeras publicaciones sobre fotogrametría aplicada al patrimonio arqueológico de la mano de Antonio Almagro Gorbea (Almagro, 1973, 45-46), quien realiza el levantamiento del anfiteatro romano de Segóbriga (Fig. 37). Poco después, en 1976, este investigador presentó un buen artículo sobre el uso de estas técnicas en arqueología y restauración (Almagro, 1976, 24). Almagro Gorbea siguió realizando otros trabajos en los que la fotogrametría juega un papel importante durante las décadas siguientes y sus proyectos servirían de modelo para otros investigadores interesados en la potencialidad de las nuevas tecnologías. Esta antigua fotogrametría analógica, cuyo aparataje conllevaba todavía una inversión de grandes cantidades de dinero, se usaba principalmente para la obtención de precisos planos arquitectónicos, ya que el *software* de edición y análisis 3D no estaba todavía lo suficientemente desarrollado como para ofrecer verdaderas posibilidades en relación con el estudio y difusión de la arquitectura patrimonial.

El verdadero desarrollo de las técnicas fotogramétricas aplicadas a la arqueología, sin embargo, se ha producido con la llegada de la era digital (López-Lillo, Charquero, 2012, 82) y la popularización de las cámaras fotográficas de alta calidad a un coste relativamente bajo.

Uno de los primeros equipos de investigadores en darse cuenta de la importancia que podía tener la fotogrametría a la hora de llevar a cabo la documentación gráfica del registro estratigráfico, fue el compuesto por Luis Caballero Zoreda, Fernando Arce y Santiago Feijoo. En un artículo de 1996 explican la puesta en práctica de esta nueva forma de documentar la estratigrafía llevada a cabo en las excavaciones de la iglesia de Santa María de Melque (Toledo) (Fig. 38):



Figura 38.- La iglesia visigoda de Santa María de Melque (Toledo) contempló los primeros ejercicios de documentación fotogramétrica de las unidades estratigráficas. (Fuente: [www.turismocastillalamancha.com](http://www.turismocastillalamancha.com)).

«La Fotogrametría posee suficiente versatilidad para hacer frente en el trabajo de campo a una documentación planimétrica horizontal y vertical, de áreas abiertas amplias, superficies irregulares y en continuo proceso de cambio, con abundantes obstáculos —restos de muros, fosas, etc.—. La fotogrametría analítica tiene un coste/hora que, en el peor de los casos, se puede considerar similar al del dibujo manual de plantas compuestas;<sup>4</sup> ahorra tiempo de excavación, es de mayor precisión que el dibujo manual y no exige personal altamente especializado. Permite documentar individualmente todos los contextos arqueológicos, deteniendo el mínimo imprescindible el trabajo de excavación, de modo que la toma de datos se acerca sensiblemente al tiempo real de excavación, y se logra un ahorro sustancial de horas de trabajo frente al dibujo manual por un dibujante». (Caballero, Arce, Feijoo, 1996).

Caballero utilizó la fotogrametría principalmente para realizar la planimetría del yacimiento y permitir su análisis y estudio gracias a un sistema CAD de capas. Así mismo, ya plantea la importancia del 3D a la hora de poder visualizar las UE de distintas fases junto con el diagrama Harris y así hacer más comprensible el contexto excavado.

En este mismo año de 1996, otro de los proyectos pioneros de aplicación de la fotogrametría con fines puramente arqueológicos fue la documentación de los restos del Forum Vetus, en Sarmizegetusa (Rumanía), (Grussenmeyer, Perdrizet, 1996, 200-204). En este caso, sin embargo, no se realizó ninguna excavación y, por lo tanto, fueron únicamente los restos monumentales los que se documentaron, algo parecido a lo que, sin embargo, ya hacía Almagro Gorbea desde los años setenta.

Poco después, en 1999, el arqueólogo Ángel Astorgui reflexionaba sobre el sistema ideado por Caballero y, pese a que reconocía muchas ventajas en el uso de la fotogrametría para documentar las estratigrafía arqueológica, daba en el clavo con el problema principal: el elevado coste económico que conllevaba el uso de esta técnica por aquel entonces (Astorgui, 1999, 77). En las excavaciones en las que participó Astorgui en Torralba y Ambrona, en el verano de 1997, se usó la fotogrametría para dibujar hallazgos óseos

---

4 Ya en 1996 se observaba que el tiempo que se dedicaba a la fotogrametría era normalmente inferior al que se debe dedicar al dibujo tradicional para obtener los mismos resultados. Actualmente esto ha cambiado mucho: ya no existe ninguna duda de que la fotogrametría ahorra muchísimas horas de trabajo a los arqueólogos y los resultados que se obtienen, no sólo no son iguales a los que se obtendrían mediante el dibujo tradicional, sino que son mucho más completos y precisos.

y registrar las unidades estratigráficas en los que estos fueron encontrados. También puso en marcha este sistema en la Cueva de El Mirón (Cantabria) documentando con esta técnica la estratigrafía de unos hogares que, posteriormente, serían accesibles en 3D:

«Gracias a este ejemplo, las capacidades de este sistema se han mostrado claramente: podemos descubrir relaciones espaciales y realizar dibujos automáticos de estructuras, secciones y otros elementos que han sido capturados en las imágenes digitales. [...] Las ventajas que nos ha ofrecido el uso de este sistema son: la reducción del tiempo invertido en la toma de medidas durante la excavación, así como la reducción del número de pasos necesarios para introducir esta información en la base de datos, lo que reduce también el error potencial. Estamos hablando de fotogrametría simplificada, que permite trabajos fotogramétricos de bajo coste pero con la apropiada precisión, adecuada a cada momento y circunstancia, sin requerir ninguna preparación técnica especial». (Astorgui, 1999, 79)

Siguiendo esta novedosa metodología, comenzada a poner en práctica por Caballero, a partir de 1997 se iniciaron las excavaciones de la Catedral de Vitoria (Koroso, Muñoz, 2006, 166). En aquellos años, la situación era muy distinta a la actualidad y, en ocasiones, se debía contar con un sistema de documentación mixto que aunara fotogrametría y dibujo arqueológico tradicional (Figs. 39 y 40):

«En aquel momento no se utilizaba la fotografía digital y los equipos topográficos que se disponían apenas podían registrar las lecturas realizadas. La tarea de tomar datos topográficos requería una importante dedicación y se decidió documentar fotogramétricamente las unidades estratigráficas referidas a los planos de periodo (estimados en la excavación y por tanto provisionales). El resto de elementos se georreferencian mediante el dibujo arqueológico y para la determinación de cotas se utilizó la topografía clásica. [...] Tomando como base el concepto de los MDT (Modelos Digitales del Terreno) se desarrolló un proceso de trabajo para poder realizar una representación de la superficie a partir de unidades teseladas de tamaño fijo [que equivalen a las superficies texturizadas de las UU.EE.]». (Koroso, Muñoz, 2010, 167-168)

Durante la campaña de excavaciones del año 2000-2001, el equipo de Vitoria se resistió todavía a utilizar un sistema de documentación gráfica basado únicamente en la fotogrametría y, como ellos mismos reconocen, «cada

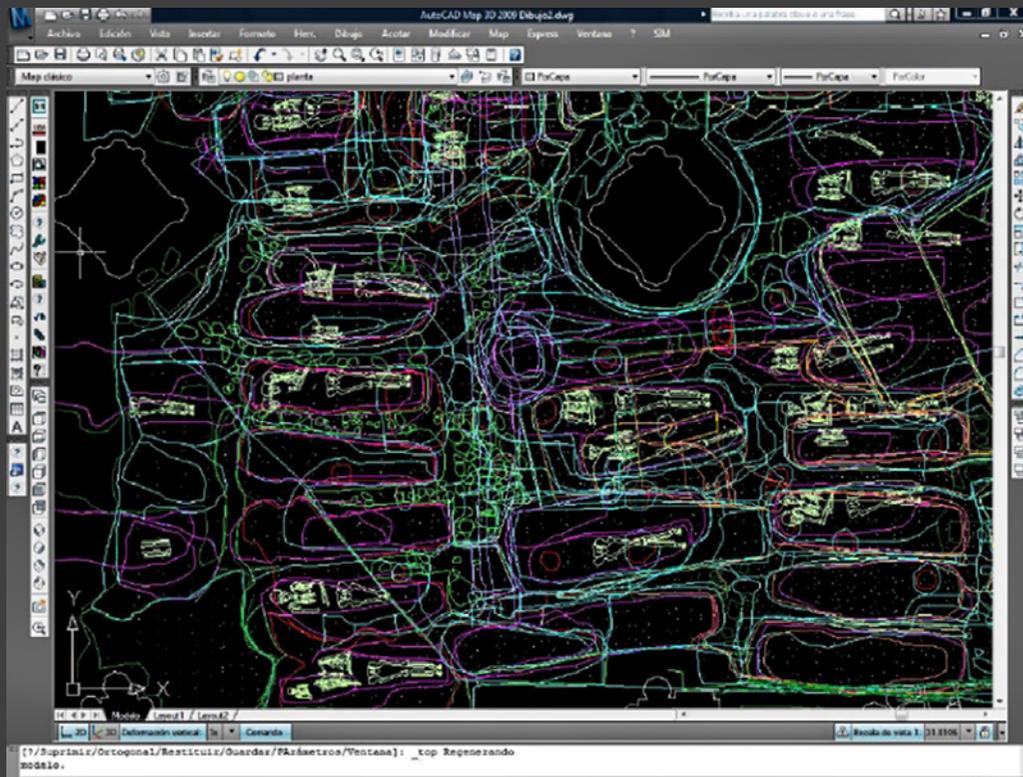


Figura 39.- Detalle de la planimetría de las excavaciones llevadas a cabo en la catedral de Vitoria. (Koroso, Muñoz 2010, 167, 3).

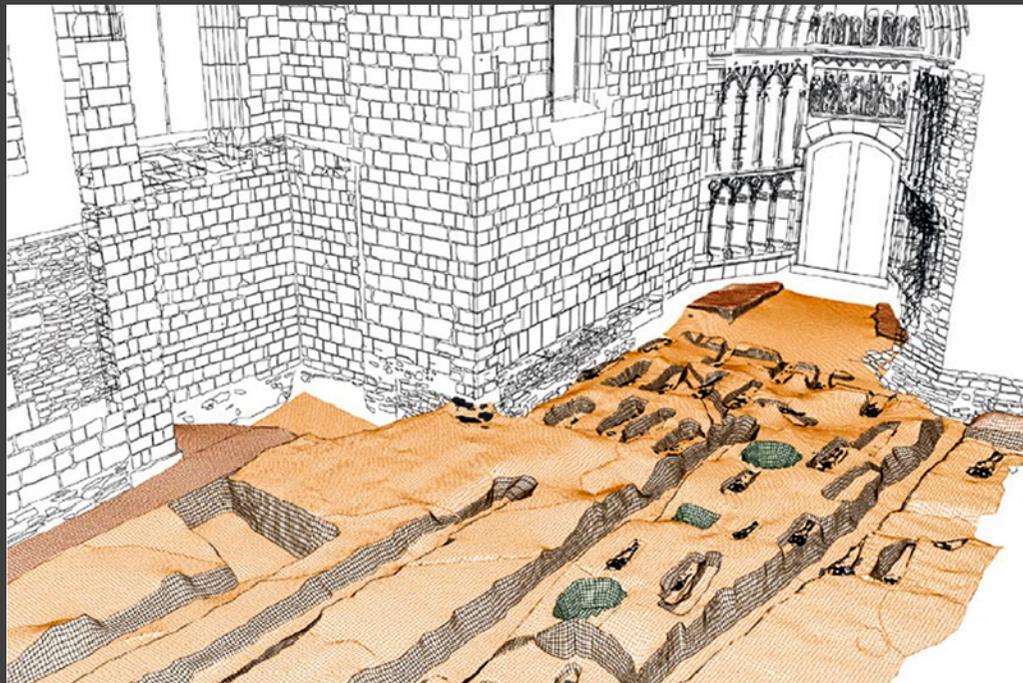


Figura 40.- Representación de los muros exteriores y las excavaciones de la catedral de Vitoria obtenida mediante el proceso semiautomático diseñado por el equipo de excavación. (Koroso, Muñoz 2010, 168, 4).

unidad era registrada 2 veces, por una parte era dibujada arqueológicamente durante el proceso de excavación y para su incorporación al SIM [Sistema de Información del Monumento] se generaba una nueva cartografía restituyendo los pares [mediante el levantamiento fotogramétrico]» (Koroso, Muñoz, 2010, 168). Tras varios cambios en la metodología de documentación, debidos al carácter experimental de estas técnicas aplicadas a la arqueología, será durante las campañas de 2004 a 2006 cuando se eliminen definitivamente la práctica del dibujo arqueológico tradicional que «es sustituido por taquimétricos obtenidos por topografía clásica y además todas las unidades son documentadas por fotogrametría haciendo accesible en un futuro la información métrica y visual» (Koroso, Muñoz, 2006, 170).

Debemos destacar que, en relación con estos grandes trabajos de documentación fotogramétrica del registro estratigráfico, comienzan a tomar gran protagonismo desde estos primeros años del siglo XXI, los sistemas de información geográfica (SIG). En el año 1997, cuando comenzaron las excavaciones de la catedral de Vitoria, «no existían soluciones comerciales para trabajar con información vectorial tridimensional y bases de datos» (Koroso, Muñoz, 2010, 173), por lo que en un principio fueron contratados unos programadores para la realización de un *software* propio para la catedral de Santa María y, con el paso de los años y tras la aparición de *software* comerciales de SIG de calidad, se realizó la migración de los datos (Azkarate, Cámara, Lasagabaster *et al.* 2001, 636-639). Esta va a ser una trayectoria que se mantendrá a partir de entonces en los trabajos arqueológicos que exploren el uso de fotogrametría para la documentación geométrica de las unidades estratigráficas, ya que en los SIG se aprovechan todas las capacidades de los modelos tridimensionales y de su relación con otros tipos de información.

Paralelamente a estos trabajos, un equipo de arqueólogos de la Universidad de Barcelona encabezado por el profesor Juan A. Barceló, ponía en marcha una metodología similar en Shamakush VII (Tierra del Fuego, Argentina), basada también en la toma de datos mediante fotogrametría y otros medios topográficos de cada unidad estratigráfica para obtener, finalmente, un modelo tridimensional del registro arqueológico (Barceló, Castro, Travet *et al.*, 2003; Barceló, Vicente, 2004) (Fig. 41).

En 2006, años después de que excavara por primera vez utilizando el método de documentación fotogramétrico en Santa María de Melque, el propio Caballero sigue insistiendo en la defensa de la fotogrametría como un

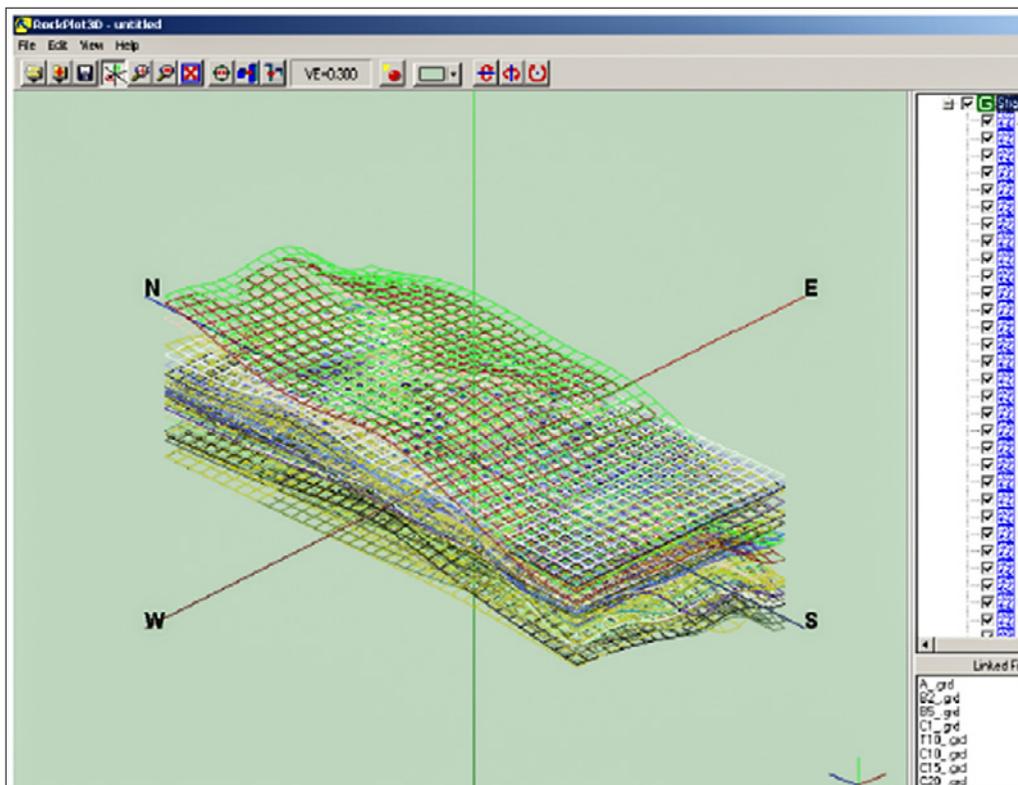


Figura 41.- Correlación entre las distintas superficies de las UE individuadas en Shamukush VII (Tierra del Fuego, Argentina) y documentadas mediante fotogrametría. (Barcelo, De Castro, Travet *et al.* 2003).

método muy adecuado para la documentación estratigráfica inaugurada por Harris:

«Que los arqueólogos nos ayudemos de los instrumentos que están a nuestra disposición (como el dibujo mecánico) que nos facilitan y agilizan el trabajo, no excluye que realicemos un dibujo arqueológico "indirecto" [es decir, desde un ordenador], ni que nos sustituyan como intérpretes de la realidad. La fotogrametría en realidad es un instrumento auxiliar que se acomoda muy bien al método Harris de registro. Una vez que la excavación diferencia la superficie de la nueva o nuevas UEs que se han de levantar de inmediato, se efectúa la toma fotogramétrica de sus superficies. Este proceso no supone pérdida de tiempo en la excavación [...] [Además, hay que tener en cuenta que] la seguridad de poseer la documentación completa de la excavación permite seleccionar y sintetizar la documentación elegida para la publicación de la Memoria». (Caballero, 2006, 92).

En Italia se materializó también en estos años la preocupación en torno a lo que ellos llaman *la digitalizzazione dello scavo archeologico* (Laurenza, Putzolu, 2008, 107), llevándose a cabo en 2008 un *workshop* en la Università di Foggia llamado *L'informatica è il metodo della stratigrafia* que supuso una primera puesta en común del uso de distintas metodologías de excavación

donde las llamadas «nuevas tecnologías» jugaban un papel importante. Los arqueólogos italianos Sabatino Laurenza y Cristiano Putzolu destacan, con gran acierto, lo siguiente:

*«A nostro avviso oggi non abbiamo bisogno né di un'archeologia fatta di milioni di punti o di complicati ed incomprensibili modelli matematici, né tanto meno di un'archeologia fatta solo di carte, matite e penne; ciò di cui oggi abbiamo bisogno è un'archeologia che ragioni sulla metodologia e sulla tecnica usando carta e penne, cazzuola e mouse 'alla luce di uno schermo digitale'.»<sup>5</sup>*  
(Laurenza, Putzolu, 2008, 109).

Estos arqueólogos observan, siempre desde la precaución, el manejo de esta inmensa cantidad de datos, haciéndose interesantes preguntas como «[...] *quanta informazione deve contenere un modello? Quale è il rapporto tra informazione e rappresentazione? Quali e quanti dati devono essere selezionati per permettere una adeguata comunicazione?»<sup>6</sup>* (Laurenza, Putzolu, 2008, 111). Sin embargo, no llegan a proponer este cambio metodológico.

Citan al arqueólogo que ha llegado más lejos poniendo en práctica esta metodología de excavación basada en el levantamiento fotogramétrico de cada unidad estratigráfica y su posterior incorporación a un sistema de análisis y visualización complejo: Maurizio Forte. Éste arqueólogo italiano, afincado en EEUU, dirige desde 2010 un proyecto de excavación en la mítica Çatalhöyük (Turquía) (Fig. 42):

*«The project "3D-Digging at Çatalhöyük" (fig.1) aims to virtually reproduce the entire archaeological process of excavation using 3D technologies (laser scanners, photogrammetry, computer vision, image modeling) on site and 3D Virtual Reality of the deposits of Çatalhöyük as they are excavated (in lab through teleimmersion). In this way it is possible to make the excavation process virtually reversible, reproducing digitally all the phases of excavation, layer-by-layer, unit-by-unit.»<sup>7</sup>* (Forte, Dell'Unto, Issavi et al., 2012, 353).

---

5 «En nuestra opinión hoy no necesitamos ni una arqueología hecha de millones de puntos o de complicados e incomprensibles modelos matemáticos, ni mucho menos de una arqueología hecha solo de mapas a lápiz y bolígrafo; lo que hoy en día necesitamos es una arqueología que razone sobre la metodología y sobre la técnica usando papel y boli, paletín y ratón "a la luz de una pantalla digital".»

6 ¿Cuánta información debe contener un modelo?; ¿Cuál es la relación entre información y representación?. ¿Cuáles y cuántos datos deben ser seleccionados para permitir una adecuada comunicación?

7 «El proyecto "3D-Digging at Çatalhöyük" tiene como objetivo reproducir de forma virtual el proceso de excavación arqueológica al completo usando tecnologías 3D (láser escáner, fotogrametría, visores virtua-

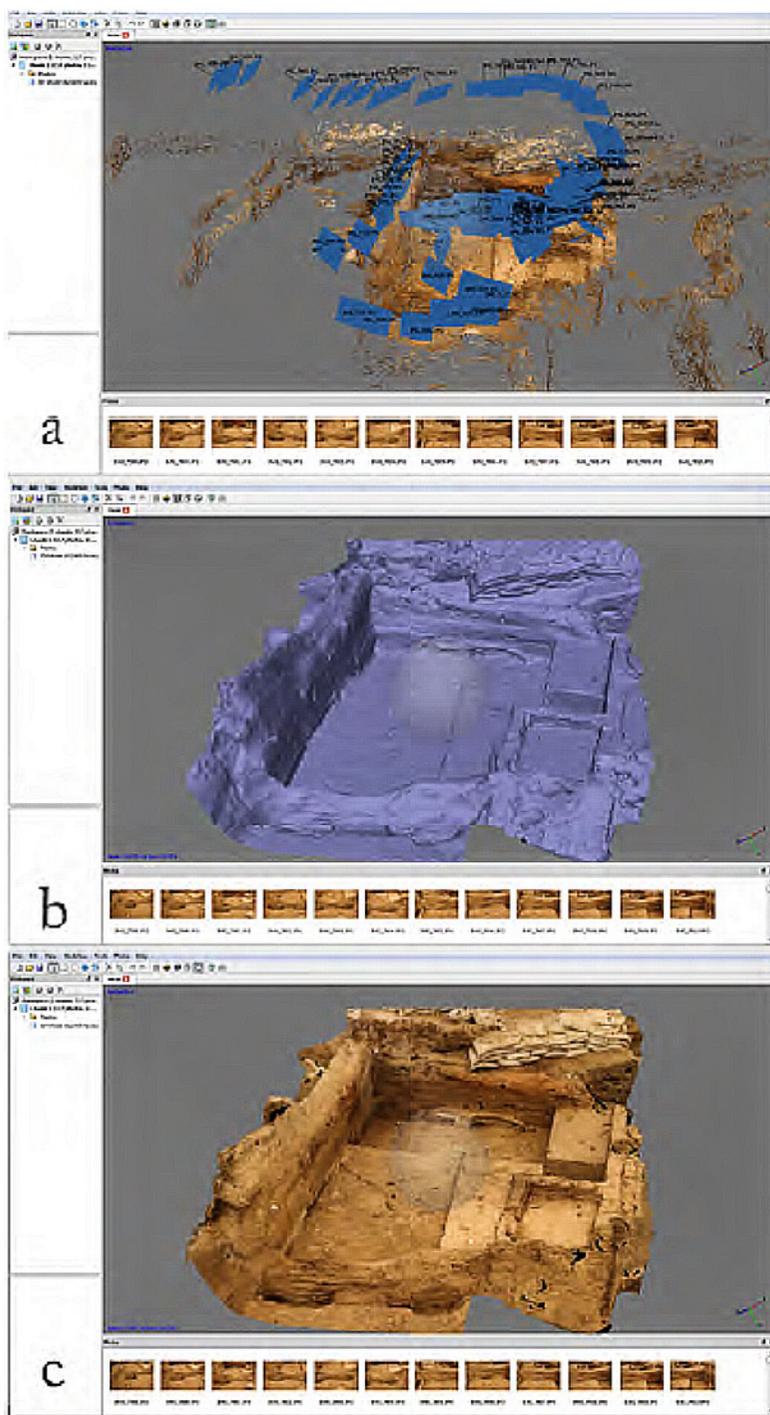


Figura 42.- Capturas de pantalla del software PhotoScan durante la creación del modelo 3D de una de las UE del proyecto "3D Digging at Catalhöyük". (Forte, Dell'Unto, Issavi *et al.*, 2012: 368).

Éste es quizás el proyecto, en relación con la fotogrametría arqueológica, más novedoso que se ha realizado hasta la fecha, basado en una metodología sólida y con objetivos claros también en el campo de la comunicación posterior. Cabe destacar, de nuevo, la gran importancia que cobran en él, no sólo las posteriores actuaciones en el campo de la realidad virtual, sino también el estudio de una nueva concepción del SIG basada en el desarrollo de todas las posibilidades de la estratigrafía tridimensional.

En la actualidad cada vez existen más proyectos que adoptan esta metodología cuyos resultados se han presentado en los últimos años en conferencias y congresos, o están en desarrollo todavía (Dellepiane, Dell'Unto, Callieri *et al.*, 2012; Callieri, Dell'Unto, Dellepiane *et al.*, 2011; Ortiz, Barba, Fiorillo *et al.*, 2012). Una de las novedades más importantes es, como dice Daniele Ferdani, que:

*«Recently, a low cost and easy-to-use technology, represented by dense stereo matching tools, that allow 3D models to be*

les, modelado de imagen). [...] De este modo es posible hacer el proceso de excavación virtualmente reversible, reproduciendo de forma digital todas las fases de excavación, capa por capa, unidad por unidad.»

*obtained automatically from a set of un-calibrated photos, opened the way to an intensive use in archaeology.»<sup>8</sup> (Ferdani, 2012, 217).*

Debemos tener en cuenta que la metodología que nos proponen todos estos yacimientos, se desvela quizás como la que más se adapta a las necesidades de la Arqueología:

*«Per servirsi della distruzione a vantaggio della ricostruzione occorre aguzzare l'ingegno [...] Quanto piú ampia, profonda e sistematica è stata l'analisi dei dettagli, tanto piú ardua ma anche ricca sarà la costruzione della sintesi capace di comprenderli. [...] Para servirse de la destrucción en ventaja de la construcción se debe aguzar el ingenio [...] Una lettura sbagliata non danneggia un testo, né uno sguardo fallace consuma una immagine, mentre uno scavo errato o uno sterro distruggono per sempre l'evidenza sepolta. È come bruciare le pagine di un libro in copia única súbito dopo la sua lettura. [...] Lo scavo traduce forzatamente e irreversibilmente la pesantezza dei materiali e della terra nella leggerezza delle parole, dei disegni e delle fotografie.»<sup>9</sup> (Carandini, 2010, 6, 8, 13 y 14)*

A raíz de esta famosa cita de Carandini, parece lógico pensar en la evolución de esas «*delle parole, dei disegni e delle fotografie*», que hoy en día pueden tener una capacidad mucho mayor de conservar información sin constituir inevitablemente un aglomerado de puntos ininteligibles. Gracias al uso inteligente y arqueológico de técnicas como la fotogrametría y el escaneado láser, es posible recuperar mucha más información de los vestigios sepultados del pasado. Siguiendo con la metáfora de Carandini, antes la arqueología se ocupaba de tomar todas las notas posibles de aquel libro que estaba a punto de ser destruido tras la lectura. Hoy en día, en cambio, nos encontramos cada vez más cerca de no tener que copiar a mano parte de aquel libro, sino de poder fotocopiar sus páginas y analizar de forma más concienzuda párrafo a párrafo con posterioridad.

8 «Recientemente, la aparición de herramientas de cálculo de nube de puntos de bajo coste y uso sencillo, que permiten obtener modelos 3D de forma automática a partir de un grupo de fotografías no calibradas, ha abierto el camino para su uso intensivo en Arqueología.»

9 «Cuanto más amplio, profundo y sistemático, ha sido el análisis de los detalles, tanto más ardua y rica será la construcción de la síntesis capaz de hacer comprenderlos. [...] [Debemos tener en cuenta que] una lectura errónea no daña un texto ni una mirada falaz consume una imagen, mientras que una excavación equivocada o descuidada destruye por siempre las evidencias sepultadas. Es como quemar las páginas de un libro del que sólo existe una copia justamente después de leerlo. [...] La excavación arqueológica traduce forzosa e irreversiblemente la pesadez de los materiales y de la tierra en la ligereza de las palabras, los dibujos y las fotografías.»

Sin embargo, nos enfrentamos también a un gran problema: la disparidad de técnicas dentro de esta nueva metodología arqueológica. Como nos recuerdan Laurenza y Putzolu:

*«Eppure tali apparenti uniformità celano differenze sostanziali di approccio, metodologia e processi operativi che proprio la tecnologia ha paradossalmente il potere di far sembrare analoghi [...] In una situazione come questa un ruolo molto importante deve essere svolto dall'Università, quale luogo deputato alla formazione di figure professionali che affianchino al necessario know-how técnico ed informatico una solida base teorica.»<sup>10</sup> (Laurenza, Putzolu, 2008, 108-9).*

Este conocimiento técnico previo, adquirido en la Universidad y actualizado año a año gracias a las noticias de los yacimientos más punteros, debe ser el banco de herramientas desde el que se comience a construir una metodología relativamente estable ya que, rescatando las palabras de Carandini, *«per poter estrarre scavando il massimo di informazione e per poter confrontare i risultati di scavi diversi occorre un minimo comune denominatore nel método da usare ricercando sul campo»*.<sup>11</sup> (Carandini, 2010, XV). En la actualidad, de hecho, ya hay equipos de investigación trabajando en el establecimiento de protocolos metodológicos para la arqueología virtual, tales como las «unidades reconstructivas», que están siendo planteadas por Javier Muñoz y Jaime Molina, de la Universidad de Alicante, o la «escala de evicencia histórico arqueológica» que estamos desarrollando junto con César Figueiredo y más profesionales, en base a una idea del proyecto Byzantium 1200.<sup>12</sup>

A lo largo de esta investigación hemos descubierto que nuestro país fue uno de los primeros en los que se comenzó a plantear el uso de una completa documentación arqueológica en 3D: fue un equipo español, dirigido por el museólogo y arqueólogo Luis Caballero Zoreda, el primero que aplicó esta técnica, adelantándose a su tiempo, en las excavaciones arqueológicas de

---

10 «Esta aparente uniformidad esconde diferencias sustanciales de acercamiento, metodología y procesos operativos que la tecnología, paradójicamente, tiene el poder de hacer parecer análogos [...] En una situación como esta, uno de los papeles más importantes debe estar representado por la Universidad, como lugar de formación de profesionales que cuenten con una sólida base de saber hacer técnico e informático.»

11 «Para poder extraer de la excavación el máximo de información posible y poder confrontar los resultados de excavaciones diversas, se necesita al menos un mínimo común denominador en el método de trabajo de campo.»

12 Por el momento no existen publicaciones relativas a estas herramientas, pese a que sí hay algunas prepublicaciones en la web.

la iglesia visigoda de Santa María de Melque (Toledo) llevadas a cabo desde 1996. Hoy en día esta metodología la usan prestigiosos grupos de trabajo italianos, estadounidenses, etc., obteniendo grandes resultados y reconocimiento. Asociaciones como la SEAV —Sociedad Española de Arqueología Virtual— y varias universidades españolas, están dando cada vez más pasos a la consolidación de la arqueología virtual como una forma válida, científica y necesaria de acercarse al registro arqueológico (Fig. 43).

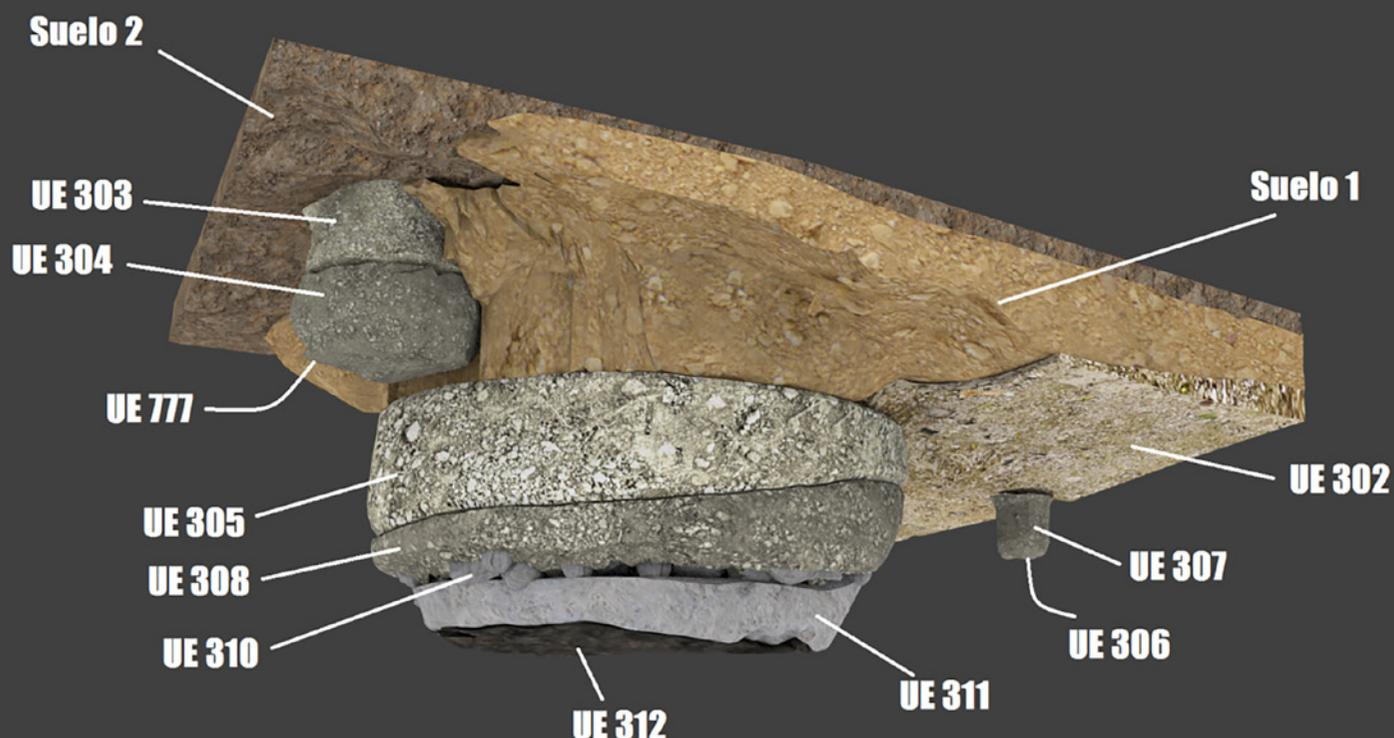


Figura 43.- Vista inferior de la estratigrafía 3D del horno de Montesa, con la propia estructura del horno (UE 191) y la roca madre (UE 349) ocultas.

## INTEGRACIÓN DE DATOS EN UNA APLICACIÓN PROPIA: EL USO DE MOTORES DE JUEGO

En la actualidad, otro de los retos a los que se enfrenta la arqueología, es al desarrollo de nuevos sistemas de accesibilidad a los datos en bruto, a la información elaborada y al discurso histórico que nace de una excavación. Los resultados de la interpretación del material arqueológico son tan

complejos, como lo es el análisis de una sociedad, en un espacio y un tiempo determinados. ¿Cómo transmitir desde los datos más básicos, a las interpretaciones más abstractas de nuestro trabajo? Uno de los caminos que se está recorriendo hoy en día es el de la integración de información en motores de juego.

Un motor de juego es un conjunto de herramientas que permite la relación y representación (renderizado) en 2D y 3D de información con unas reglas físicas determinadas que pueden asemejarse, con gran fidelidad, a las del mundo real (Lewis, Jacobson, 2002). La base de los motores de juego son los lenguajes de programación informática que, en muchas ocasiones, quedan fuera de las capacidades de los arqueólogos. La solución pasa por la realización de trabajos multidisciplinares en los que los arqueólogos participen codo con codo con los informáticos o por la aparición de motores de juego de sencillo manejo como Unity o Blender Game Engine, que no precisan de conocimientos informáticos de alto nivel a la hora de realizar espacios virtuales relacionados con el patrimonio histórico.

Actualmente, los pasos más interesantes en este sentido se están dando entre la Universidad de California (EEUU) y distintos grupos de investigación con sede en Roma (Italia), fundamentalmente gravitando en torno a las figuras de Maurizio Forte y Nicolo dell'Unto. Estos arqueólogos están llevando a cabo varios proyectos de integración de datos arqueológicos en complejos motores de juego: cabe destacar los ejemplos de virtualización de la Vía Appia (Forte, Dell'Unto, Pietroni, *et al.* 2005) y la Vía Flaminia (Pietroni, 2008).

Resulta necesario destacar aquí el apoyo oficial que se está dando a estas técnicas en la ciudad de Roma ya que, no sólo contamos con la posibilidad de visitar la Vía Flaminia en una sala del Museo Nazionale Romano de las Termas de Diocleciano, sino también y desde hace poco, la tumba etrusca Regolini Galassi, en este caso en los Museos Vaticanos.<sup>13</sup> El apoyo que museos e instituciones dan a las nuevas tecnologías sin duda ayudará a mejorar estos primeros experimentos.

El trabajo de virtualización del horno de Montesa se refleja en otro de los proyectos pioneros en este aspecto: el Progetto Itinera, capitaneado por Giuliano De Felice y llevado a cabo en el Laboratorio di Archeologia Digitale

---

13 Hay numerosos artículos de prensa sobre ello, por ejemplo: <http://www.archeomatica.it/ict-beni-culturali/la-tomba-etrusca-regolini-galassi-visitabile-in-3d>

de la Universidad de Foggia (De Felice, 2008). Se trata de una iniciativa en la que se quieren estudiar las relaciones entre arqueología y documentación tridimensional y explorar todo su potencial con la integración de datos en un motor de juegos. En este marco se está llevando a cabo un trabajo de realidad virtual para hacer visitables las distintas fases de uso de la Basilica de Faragola (Fig. 44):

*«Una disciplina che lavorasu frammenti non può non avere come obiettivo priori-tario ricostruire, rendere vivo e comprensibile il passato, muovendosi nel vuoto che separa le tracce dall'immagi-nazione. [...] Gli strumenti 3D e la loro applicazione alla metodologia di documentazione ci invitano infatti a realizzare modelli ne iquali non sia visualizzata soltanto la ricostruzione di siti archeologici, ma in cui sia reso visibile e tracciabile lo stesso processo di scavo e sia "traspa-rente" la metodologia di indagine attraverso cui giungere aquella o possibili altre ricostruzioni. [...]Su questi presupposti abbiamo elaborato una "macchina del tempo", attraverso cui sia possibile navigare interattivamente nel sito, passando continuamente, in realtime e a discrezione dell'utente, da una modalità "come è oggi" a "come gli archeologi lo immaginano"».*<sup>14</sup> (De Felice, 2008, 17-20).

Siguiendo esta idea hemos realizado una aplicación propia, accesible desde el escritorio de cualquier ordenador que disponga de ella, o potencialmente desde una página web dedicada, gracias a la cual es posible visitar de forma interactiva, tanto la excavación del horno de Montesa como su construcción durante el siglo XVIII. Su desarrollo se explicará más adelante.

---

14 «Una disciplina que trabaja con fragmentos debe tener como objetivo prioritario reconstruir, hacer vivo y comprensible el pasado, moviéndose en el vacío que separa los restos de la imaginación. [...] Los instrumentos 3D y su aplicación a la metodología de documentación nos invitan de hecho a realizar modelos en los que no solamente pueda ser visualizada la reconstrucción de los sitios arqueológicos sino en los que también sea visible el mismo proceso de excavación y sea transparente la metodología de investigación a través de la cual se llega al resto de reconstrucciones. [...] Sobre estos propósitos hemos elaborado una "máquina del tiempo" mediante la cual sea posible navegar interactivamente en el yacimiento, pasando continuamente, en tiempo real y según la voluntad del espectador, de una modalidad "como es hoy" a "como los arqueólogos lo imaginan".»

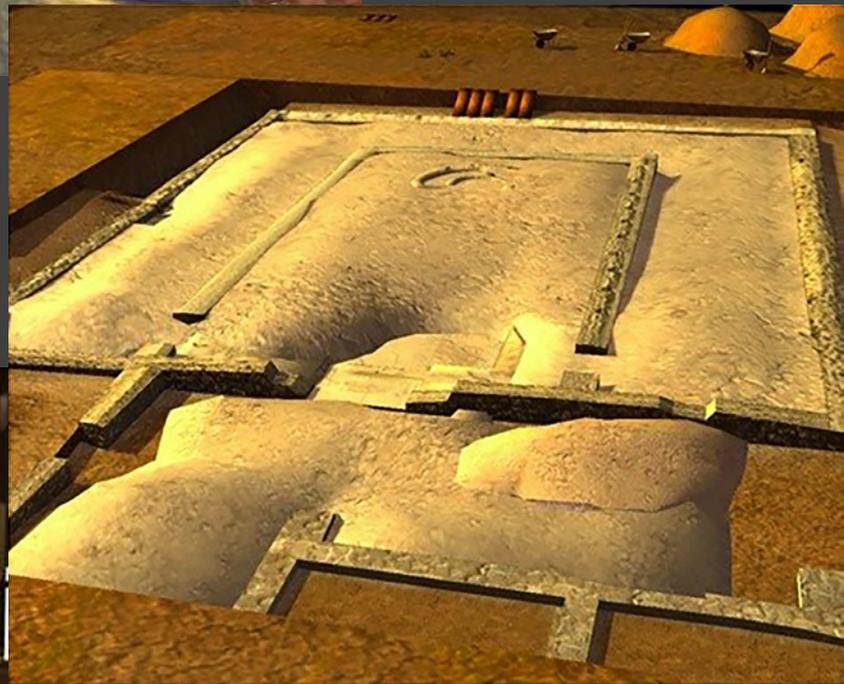


Figura 44.- Algunas imágenes de la llamada "Time Machine" del sitio de Faragola, realizada dentro del Proyecto Itinera. (<http://www.archeologiadigitale.it/progetti/timemachine/timemachine.html>).



# Capítulo 3

## Aplicación de la arqueología virtual al horno de Montesa



El enfoque metodológico al uso de la arqueología virtual no se explica sin su aplicación a un caso real que permita mostrar el alcance práctico que puede tener este campo de nuestra disciplina. Como se ha visto en el primer apartado, el uso de estas técnicas en el ejemplo concreto del horno de Montesa nos ha permitido enriquecer en gran medida el estudio arqueológico del mismo. Posteriormente, hemos visto de forma más teórica y con un acercamiento historiográfico, qué es la arqueología virtual y cómo se integra en la metodología de nuestra disciplina. En el presente apartado vamos a explicar cómo hemos realizado, tanto la estratigrafía tridimensional, como las distintas reconstrucciones y la aplicación virtual para realizar la visita interactiva del horno de Montesa.

## MODELADO 3D DE LA ESTRATIGRAFÍA DEL HORNO DE MONTESA

Uno de los objetivos de este trabajo, es el desarrollo de una estratigrafía tridimensional que permita acceder de forma gráfica y sencilla a su información, así como realizar infografías y animaciones que expliquen de forma clara la evolución del horno a la largo de la historia. Debido a que no disponíamos de modelos tridimensionales de las unidades estratigráficas realizados durante la excavación mediante fotogrametría o escaneado láser, hemos procedido a su reconstrucción basándonos en la información recogida en las fichas de UE. Esto nos ha permitido obtener varios resultados:

— Corregir algunos errores estratigráficos en cuanto a las relaciones entre unidades estratigráficas, así como los bocetos de las secciones que presentaban pequeñas incongruencias. Como dice Caballero, «el control y revisión de la excavación descubre contradicciones y corrige interpretaciones» (Caballero, 2006).

— Poder llevar a cabo la toma directa de medidas de las distintas UE en cualquier punto de las mismas, pese a que debemos tener en cuenta siempre que las medidas son relativas ya que, realmente, están determinadas por las cotas que fueron tomadas con estación total durante el desarrollo de la excavación y registradas en las hojas de UE.

— Realizar infografías de todo tipo, ya sea estáticas o en movimiento, que permitan comprender claramente esta estratigrafía, sus distintas fases y situaciones.

— Este modelo tridimensional, además, sirve de base para levantar precisas reconstrucciones de todas las fases de la excavación.

Vamos a detallar, a continuación, el proceso seguido para la realización de los modelos de cada unidad estratigráfica. Ya que la forma de trabajo ha sido similar para la realización de todas ellas, los siguientes pasos son aplicables al conjunto de la estratigrafía.

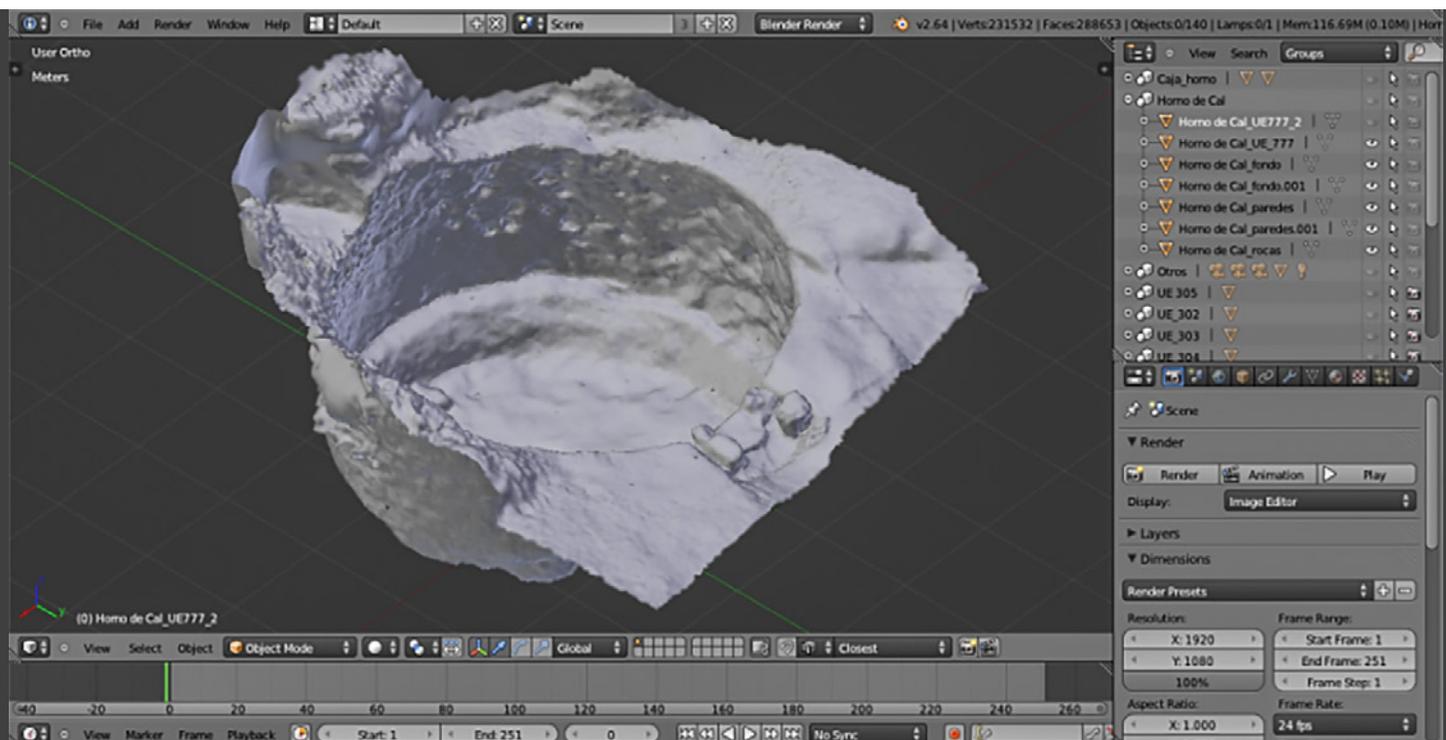


Figura 45.- Modelo fotogramétrico del horno importado a Blender

## IMPORTACIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DEL HORNO A BLENDER

En este primer paso, se ha importado formato OBJ el modelo fotogramétrico del horno de cal y se ha situado correctamente en los ejes X, Y, Z del espacio 3D. Hemos elegido éste modelo y no el generado mediante el escaneo láser debido a su menor peso en MB. Otra opción hubiera sido aplicar un modificador *decimate* sobre el modelo láser y así reducir el número de caras del mismo, pero hemos preferido usar un modelo «en bruto» sin modificar, por lo que el fotogramétrico ha sido la mejor opción. Después hemos dividido el modelo en diversas partes según los cambios de tonalidad que se aprecian en las fotografías y en la textura fotogramétrica. Precisamente, por problemas de la «fotogrametría involuntaria», la textura generada no resulta útil ya que presenta algunas partes demasiado quemadas por el sol que dificultan la comprensión del modelo; es por ello, por lo que hemos decidido texturizar el modelo de forma manual con imágenes modificadas extraídas de las originales que, además, permiten diferenciar mejor las distintas partes de la estructura (Fig. 45).

## MODELADO DE LA «CAJA DEL HORNO»

Posteriormente se ha procedido a modelar un espacio en forma de cubo que incluye el horno, para así realizar unos límites lógicos que permitan comprender mejor la estructura y la sucesión estratigráfica (Fig. 46).

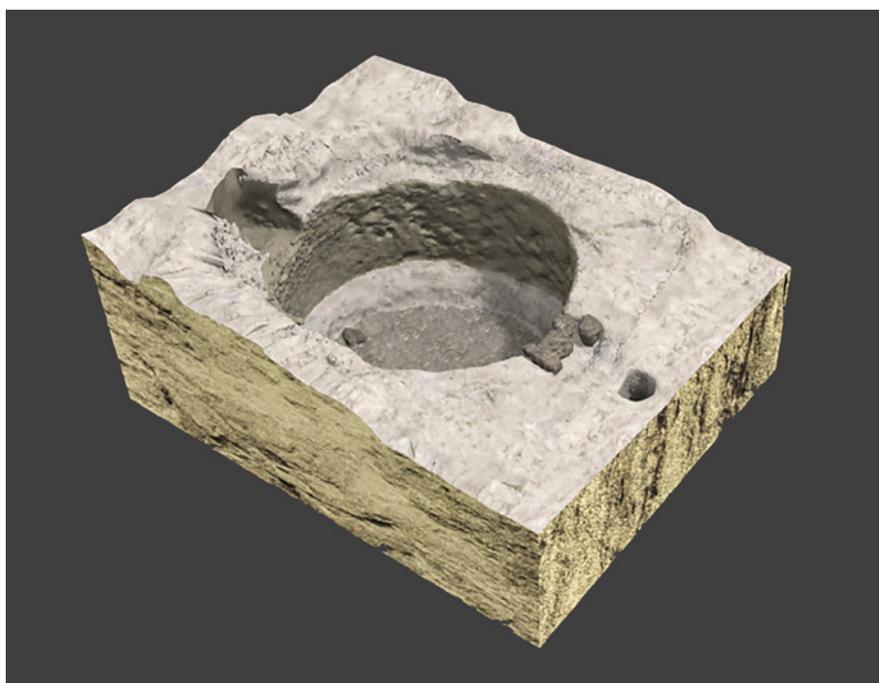
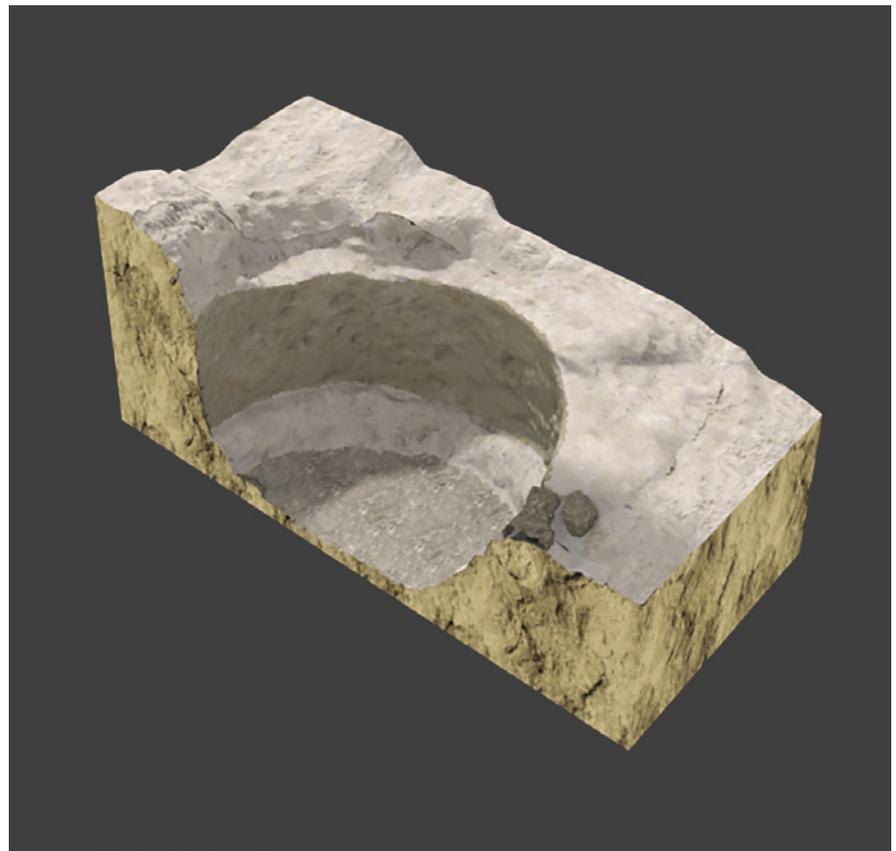


Figura 46.- *Render* del modelo en el que ya se ha incluido la “caja del horno”

## CREACIÓN DE LA SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA

Se ha llevado a cabo entonces el guardado de un nuevo archivo .blend, donde se ha seccionado el horno de forma vertical a lo largo del eje Y (sección NO-SE). Al tratarse de una estratigrafía 3D, pueden realizarse cuantas secciones se quiera y en la dirección que se desee. El frente de la sección de la «caja del horno» se ha cubierto entonces con un nuevo plano al que se le da una textura determinada que permita diferenciarlo más adelante del resto de las UE que se van a ir añadiendo (Fig. 47).

Figura 47.- *Render* del modelo seccionado a lo largo del eje NO-SE



## MODELADO DE LA PRIMERA UE

Volviendo al archivo .blend original, hemos modelado la primera de las UE, es decir, la más antigua de todas (UE 312) y, por lo tanto, la que se encuentra en la base del horno. Para ello hemos creado un plano en vista vertical ortogonal al que he situado en la posición correcta siguiendo por la planimetría de AutoCad y por las imágenes de cada unidad estratigráfica que nos fueron proporcionadas por Global Geomática S.L. Hemos subdividido varias veces el plano hasta tener una geometría compleja y extruyéndolo en el eje Z.

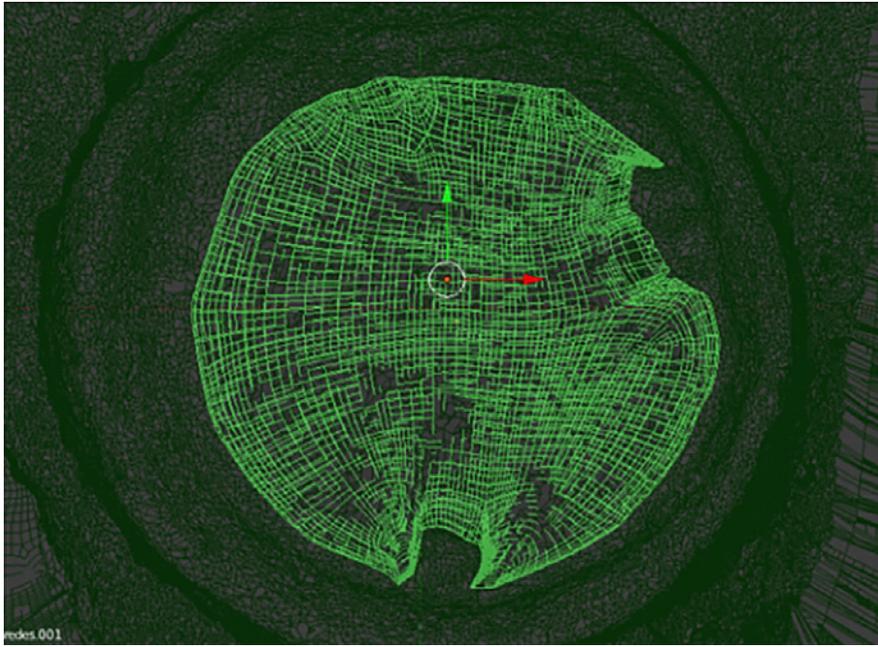


Figura 48.- a) Vista cenital del mallado de la UE 312;  
b) textura «tileada» de la UE 312, obtenida de una de las fotografías de la misma;  
c) *renderizado* de la UE 312 sobre un modelo del horno sin texturas.



Después, tras agrupar los vértices inferiores, se les ha aplicado el modificador *shrinkwrap* consiguiendo de este modo que se acoplen perfectamente a la geometría del horno de cal. De esta forma, disponemos ya de la superficie inferior de la UE 312 (Fig. 48).

Para realizar la superficie superior, nos hemos guiado por las cotas de nivel presentes en la hoja de UE, restando las inferiores a las superiores para conocer la potencia de la UE y trasladando esta información a los distintos puntos del modelo tridimensional de la UE. Posteriormente, se ha modificado la superficie mediante edición proporcional aleatoria para darle la rugosidad que tiene un estrato de ceniza y tierra. Finalmente, hemos obtenido la textura de las fotografías de la UE que ha sido acoplada al modelo tras un proceso de «tileado»<sup>1</sup> que evita la presencia de cambios de tono bruscos a la hora de repetir el patrón.

## TRASLADO DE LA PRIMERA UE A LA SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA

En el archivo .blend de la sección estratigráfica hemos usado Append para importar el modelo de la UE 312. Posteriormente se ha seccionado también esta UE de la misma forma que hicimos anteriormente con el horno y su caja y finalmente creamos el plano de la sección, cerrando así la UE 312 (Fig. 49).

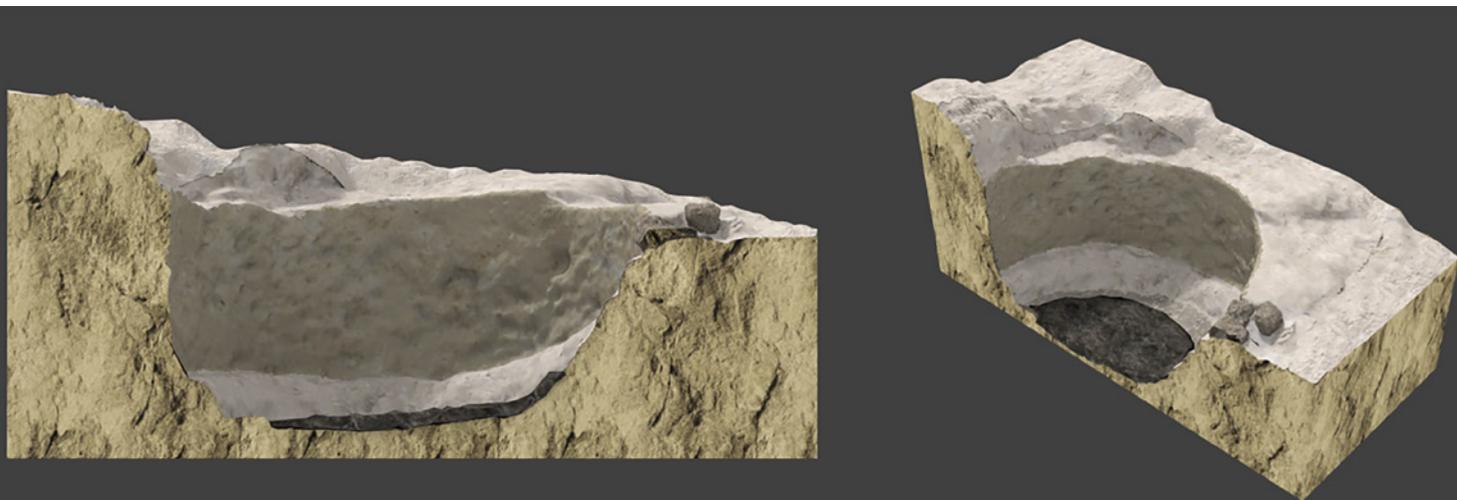


Figura 49.- Dos vistas de la sección del horno con la UE 312 ya incluida

1 El proceso de tileado consiste en la realización de texturas modificadas de tal manera que, al repetirse sobre una superficie, hagan imperceptible la unión de la misma, dando lugar a una superficie más homogénea.

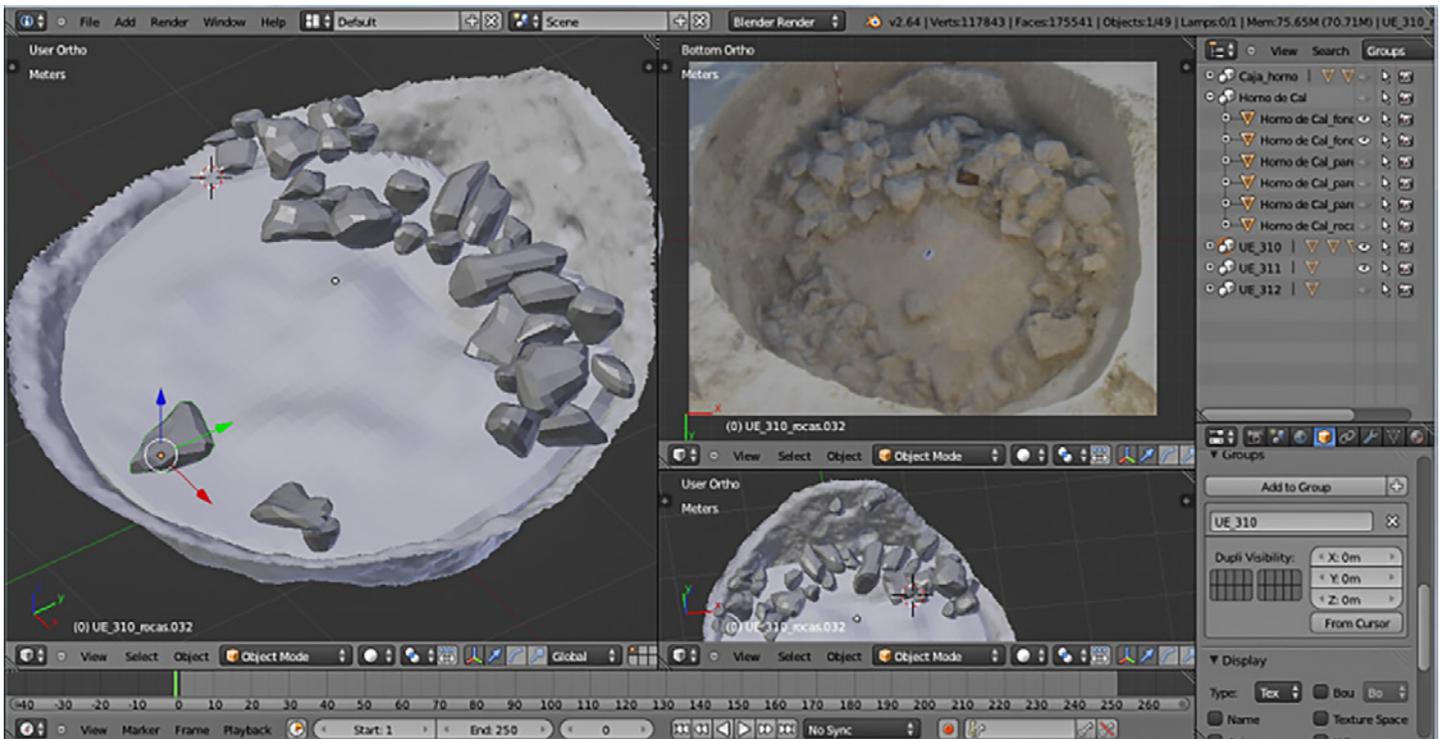


Figura 50.- Proceso de modelado de un derrumbe (UE 310) sobre la base de varias fotografías y las cotas de nivel

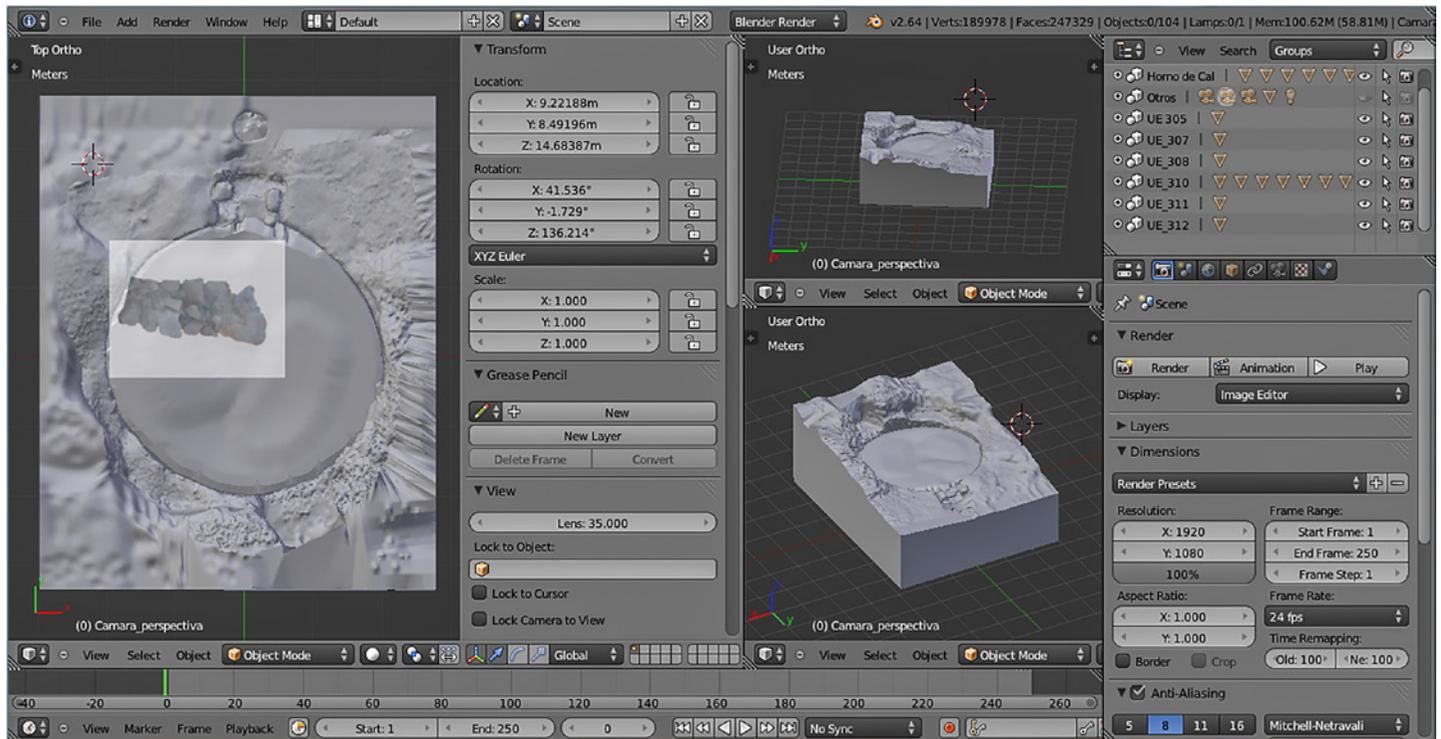


Figura 51.- Proceso de modelado de un muro (UE 309) sobre la base de una ortofoto del mismo, varias fotografías y las cotas de nivel

## MODELADO DEL RESTO DE UE

El proceso para el modelado del resto de las unidades estratigráficas es igual que el llevado a cabo para la realización de la UE 312, con excepción de aquellas UE de derrumbes (UE 311) o estructuras construidas (UE 309) para las que se han usado las fotografías y ortofotos disponibles sobre las cuales se han «dibujado» en Blender los límites de las distintas rocas, intentando así obtener un modelo lo más preciso posible de las mismas (Fig. 50 y 51).

## TRASLADO DEL RESTO DE UE A LA SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA

Para trasladar el resto de unidades a la sección estratigráfica se ha seguido el mismo procedimiento que en la primera UE (Fig. 52).

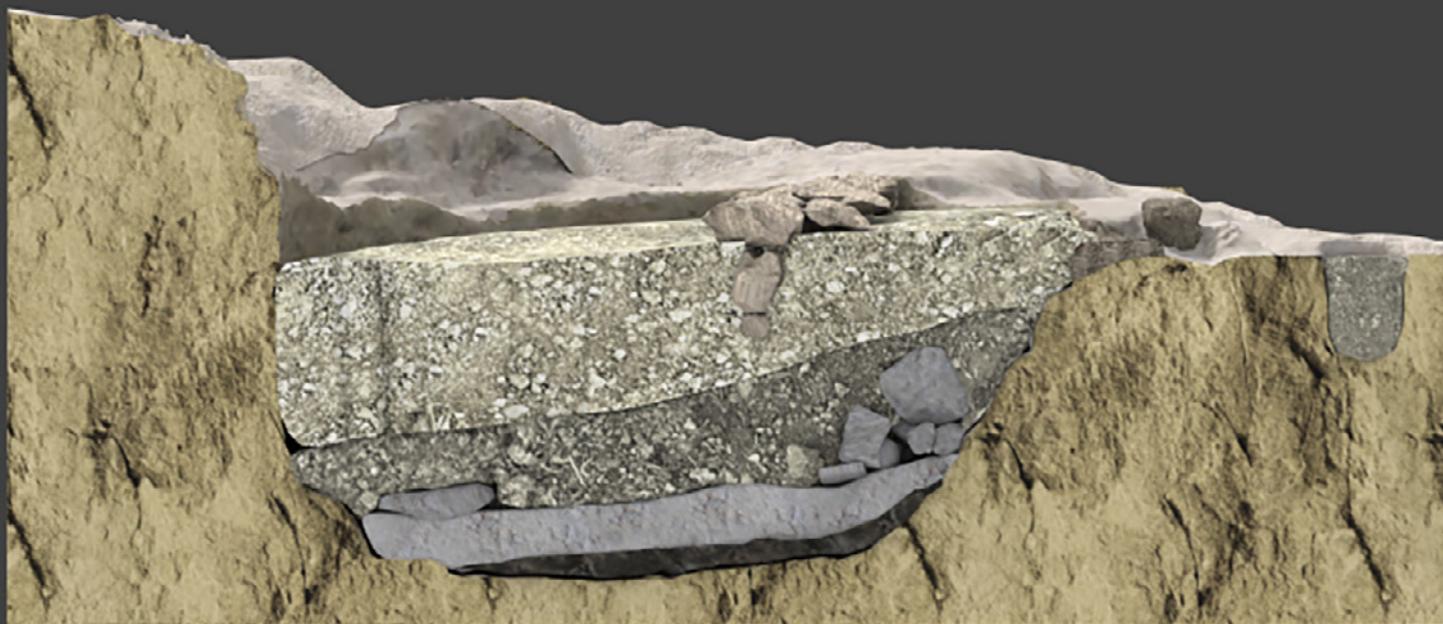
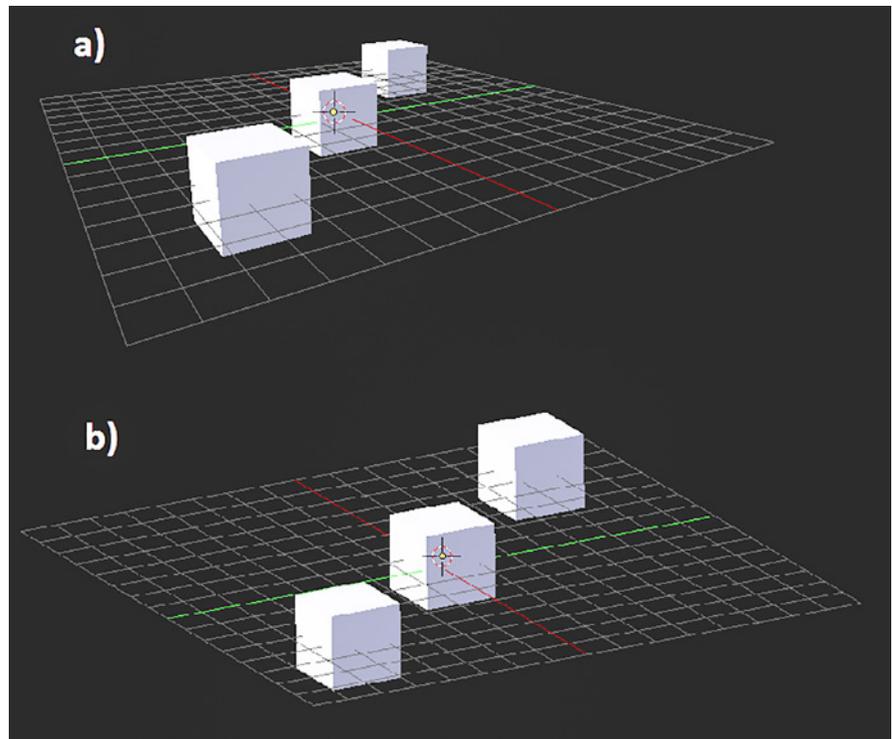


Figura 52.- Sección de la estratigrafía con el muro (UE 309) como última unidad estratigráfica

Figura 53.- a) Cubos vistos en perspectiva; b) cubos en vista ortogonal



Una de las primeras cosas que nos planteamos, a la hora de comenzar a elaborar el modelo 3D de la estratigrafía, fue importar la planimetría de la excavación desde AutoCad. Parece que resulta lo más adecuado para mantener las correctas dimensiones de las unidades estratigráficas a la hora de reconstruirlas. Sin embargo, nos encontramos con un problema: las dimensiones de algunas UE no parecían corresponderse con las proporciones del horno de cal que se observaba en el visor 3D de Blender. Tras estudiarlo con detenimiento, vimos que probablemente se trataba de un error a la hora de llevar a cabo la realización de la planimetría, relacionado con las dos vistas posibles de un objeto en 3D: la ortográfica y la perspectiva (Fig. 53).

— Vista en perspectiva: usa varios puntos de fuga y se caracteriza por deformar los objetos según la distancia a la que se encuentren, es decir, los objetos más lejanos aparecerán más pequeños.

— Vista ortográfica: no usa puntos de fuga sino líneas paralelas que nunca convergirán entre sí. Los objetos aparecen siempre con su tamaño real, se encuentren a la distancia a la que se encuentren del espectador.

¿Qué ocurre si usamos ambos modos para visualizar una estructura arqueológica desde una vista cenital, es decir, como si quisiéramos plasmarla en un plano? Como podemos ver en la siguiente imagen (Fig. 54), el fondo del horno parece mucho más pequeño en la vista de perspectiva al encontrarse

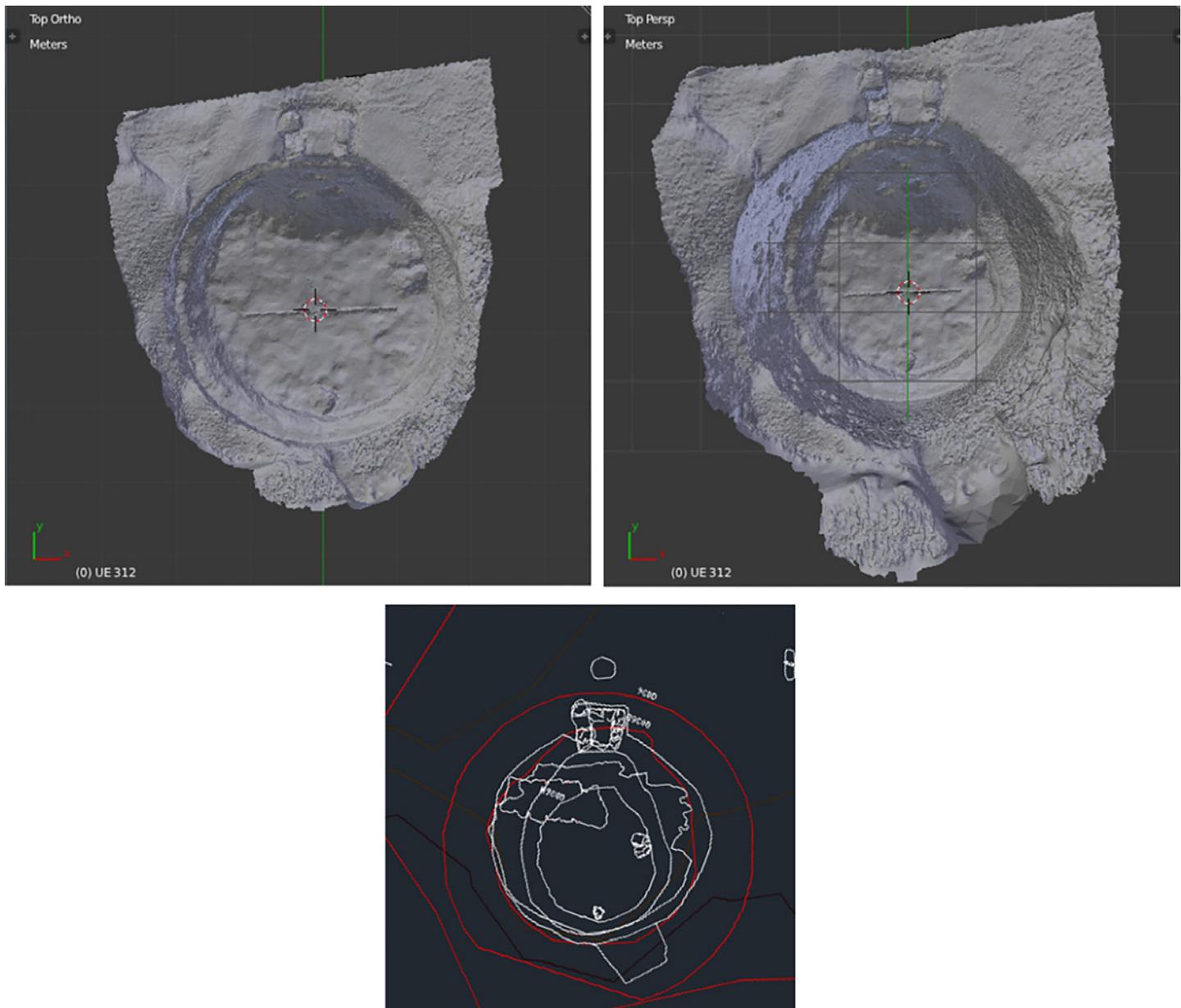


Figura 54.- Arriba, a la izquierda, vista cenital del modelo 3D del horno de Montesa en modo ortogonal; a la derecha, la misma vista en perspectiva; debajo, vista de la planimetría del horno en Autocad

más alejado, mientras que en la vista ortográfica lo vemos sin ningún tipo de deformación, con sus medidas exactas. Estamos aquí ante una ortofoto que nos permitiría tomar medidas reales sobre el papel —algo que no se puede hacer en una foto normal—.

¿Qué problemas puede acarrear, para el trabajo arqueológico, el uso de un modo de visualización equivocado? Pues, por ejemplo, si queremos obtener la vista naturalista de una reconstrucción virtual, no debemos usar el

modo ortográfico, ya que nos vendrá bien la presencia de perspectiva para que el resultado sea más realista y que nuestro ojo sea capaz de captar lo que está más lejos y lo que no.

Más peligroso, sin embargo, es usar el modo de perspectiva a la hora de realizar planos: esto hará que en nuestro documento gráfico no estén representados los objetos con sus medidas reales sino deformadas, por lo que una de las finalidades de un plano arqueológico —la de realizar medidas en él— queda invalidada por completo.

De algún modo, parece que la planimetría de las UE que componen el horno se ha realizado a partir de una vista con cierta perspectiva. ¿Está entonces todo perdido? ¿Estaríamos abocados a realizar de forma errónea la virtualización de las distintas unidades estratigráficas? Ni mucho menos: habiendo detectado el error, y mediante la comparación de los modelos en los diferentes modos, podemos saber dónde se encontraba exactamente cada UE de relleno de nuestro horno. Acarrea dificultades y algunos quebraderos de cabeza, pero se puede solventar el error y obtener una planimetría mucho más correcta del horno excavado (Fig. 55).

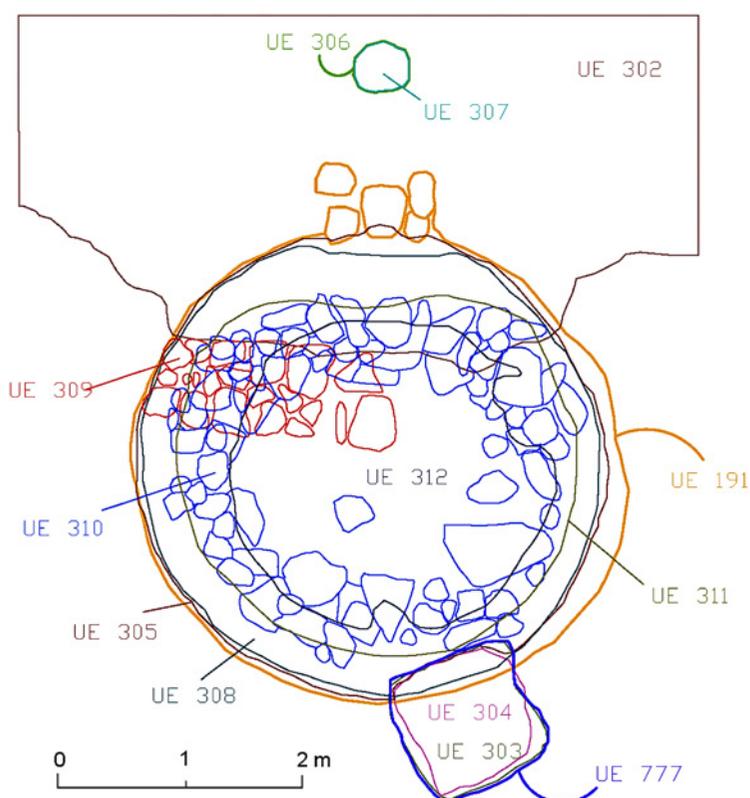


Figura 55.- Planimetría de las UE excavadas en la zona del horno realizada con AutoCad a partir del modelo tridimensional de Blender en vista ortográfica

Como ha quedado demostrado, resulta imprescindible el uso de la vista ortográfica a la hora de realizar planos y dibujos arqueológicos. Así aseguramos la fiabilidad métrica de nuestro dibujo y permitimos la correcta importación del archivo de AutoCad a Blender para comenzar la reconstrucción. Así mismo, también se ha vuelto a poner de manifiesto cómo un trabajo de arqueología virtual puede corregir algunos de los errores que se hayan podido cometer durante el proceso de documentación y, por tanto, ofrecer una representación más acertada de los datos recogidos.

## RECONSTRUCCIÓN DE LAS DISTINTAS FASES ARQUEOLÓGICAS

Una vez que tenemos la estratigrafía modelada, y con ello toda la documentación tridimensional que fue recabada durante la excavación, y después de analizarla y realizar la matrix Harris, podemos comenzar a reconstruir las fases arqueológicas.

De nuevo, debemos recordar que «para lograr unos niveles de rigurosidad y veracidad histórica óptimos cualquier forma de visualización asistida por ordenador del pasado debe estar sustentada en una sólida investigación y documentación histórica y arqueológica» (FIAV, 2012, 17), y así ha sido llevado a cabo también en este caso, como se ha podido ver en páginas anteriores.

De este modo, se ha planteado la reconstrucción de cinco momentos temporales:

- Fase I: Construcción y uso del horno de cal (siglo XVIII).
- Fase II: Abandono del horno.
- Fase III: Cobertizo (hacia 1850).
- Fase IV: Uso agrícola del suelo I.
- Fase V: Uso agrícola del suelo II.

## La excavación arqueológica

La Fase IV, correspondiente al abandono del cobertizo, se ha considerado de menor interés histórico y por ello no ha sido reconstruida de forma virtual, mientras que para la Fase V realmente carecemos de una cantidad de datos suficiente que nos permita plantear una reconstrucción interesante y verídica. El último momento que hemos reconstruido, en el que se recrea la excavación arqueológica, pretende mostrar cómo fueron encontrados realmente los restos, aunque esto se ha conseguido de forma mucho más efectiva gracias al motor de juego que se explicará más adelante.

La reconstrucción del horno de Montesa durante su fase de uso fue, como se puede suponer, lo más complejo de todo. El pilar principal para su realización fue la investigación histórico-arqueológica y antropológica que habíamos llevado a cabo previamente en torno a los hornos de cal.

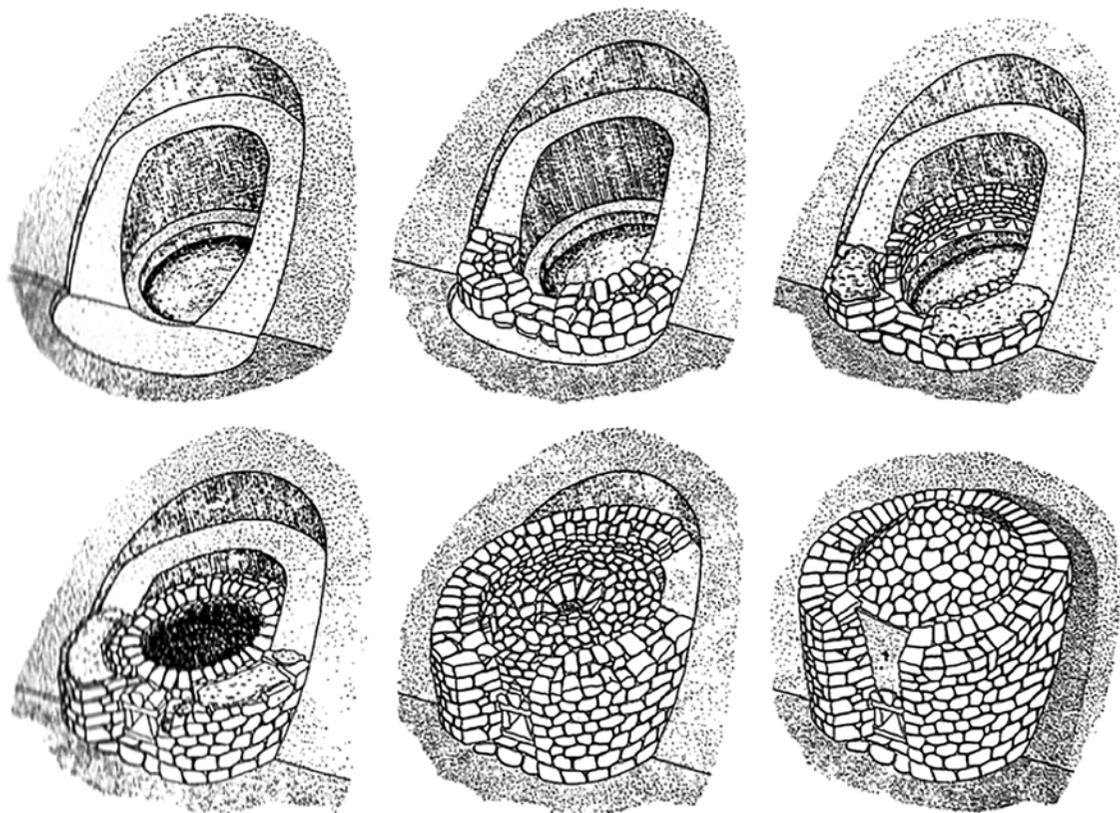


Figura 56.- Infografía 2D en la que se representa el proceso de construcción de uno de los hornos de cal de Vinaròs. (Rosell, Subirats, 1987, 9).

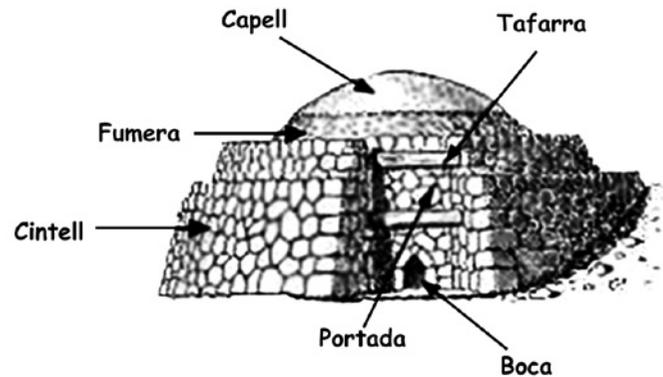


Figura 57.- Horno de cal tradicional de Galatzó (Islas Baleares). Fue reconstruido por el taller ocupacional Galatzó V entre 2010 y 2011 y puesto de nuevo en funcionamiento. También ha servido de ejemplo para reconstruir el horno de Montesa. Fuente: arriba: [http://mestelrich2.blogspot.com.es/2011\\_12\\_01\\_archive.html](http://mestelrich2.blogspot.com.es/2011_12_01_archive.html); debajo: <http://elpasado-delpresente.es/la-puesta-en-valor-de-la-finca-publica/el-horno-de-cal-del-galatzó-v/>

A la hora de su aplicación a los restos del horno de Montesa en concreto, nos hemos basado especialmente en las infografías en 2D presentes en el trabajo sobre los hornos de cal de Vinaròs (Castelón), que consideramos buenos paralelos (Baila, Gómez, 2012), pero también en otros diagramas e imágenes de hornos de cal tradicionales. Además, hemos consultado diversos aspectos técnicos tanto con Jaume Coll, director del Museo Nacional de Cerámica y Artes Suntuarias «González Martí», como con Laia Fabregat Bolufer, arquitecta de la Universidad de Alicante y experta en Arquitectura Patrimonial, a quienes agradecemos su inestimable colaboración (Figs. 56 y 57).

Con todos estos datos, hemos reconstruido la arquitectura del horno con Blender, siempre a partir del modelo fotogramétrico del horno de cal (UE 191) para mantener las proporciones adecuadas. Se han modelado todas las rocas como objetos independientes para garantizar el mayor realismo posible y permitir hacer secciones o «cortes» más fácilmente. Pese a todo, cada parte del horno se encuentra en un grupo o capa diferente, lo que da la posibilidad de que sean mostradas u ocultas de forma sencilla. El proceso completo de reconstrucción ha sido difícil y hemos trabajado al límite de las capacidades técnicas de nuestro ordenador, consiguiendo, pese a todo, un resultado bastante satisfactorio (Figs. 58 y 59).

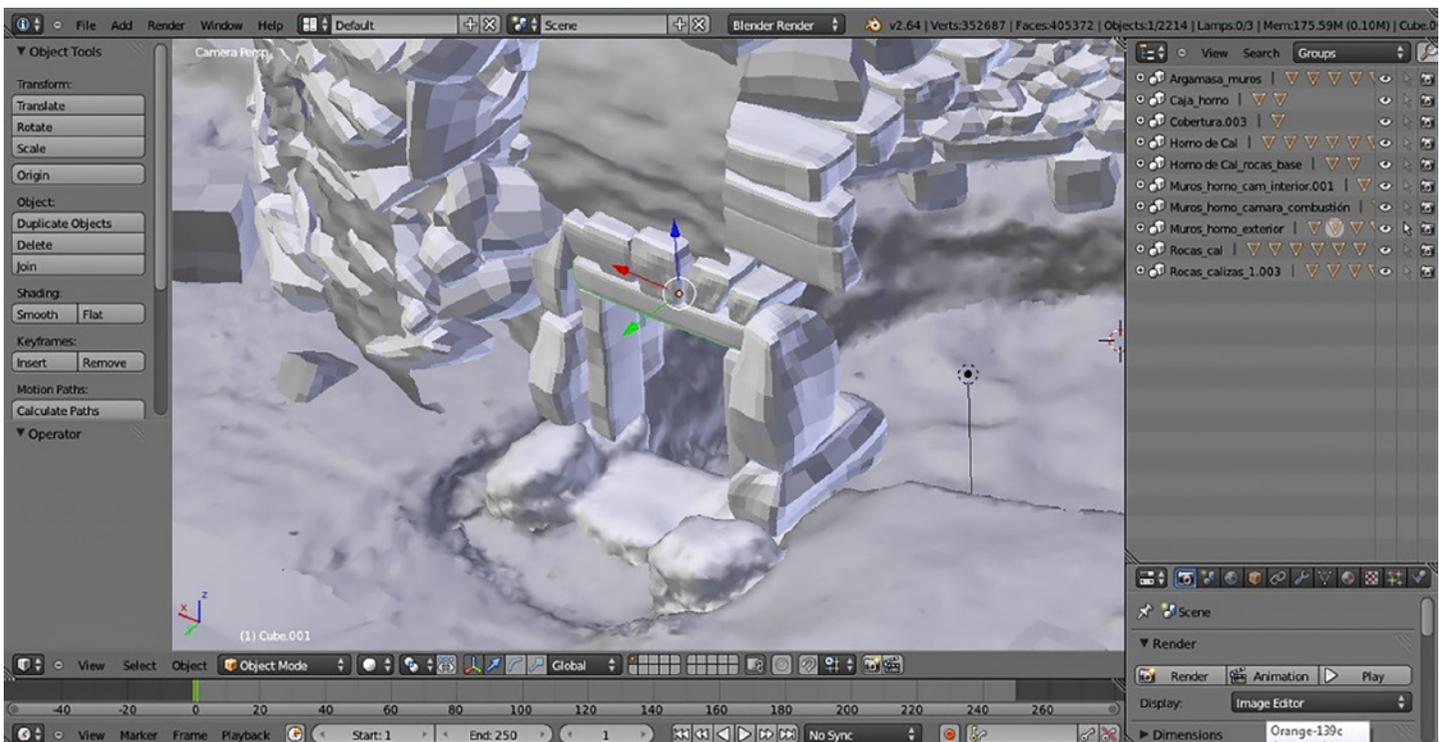


Figura 58.- Captura de pantalla del software Blender durante el proceso de creación de una de las secciones de la reconstrucción del horno

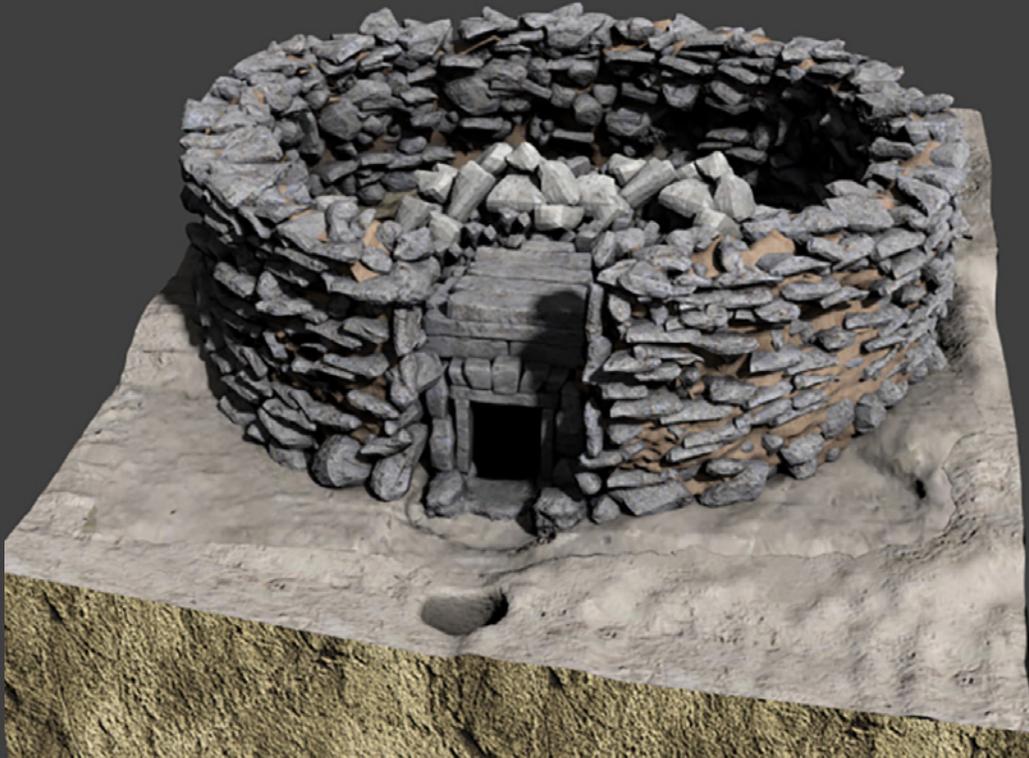


Figura 59.- Dos momentos distintos durante la reconstrucción del horno de Montesa

Desde el siguiente link se puede acceder a un pequeño vídeo en el que se muestran las distintas partes del horno de cal sobre los restos de la estructura de combustión que ha llegado hasta nosotros:

<https://www.youtube.com/watch?v=YHqUi5rxakU>



Figura 60.- Distintos momentos y vistas de la reconstrucción de la caseta del siglo XIX que se levantó sobre los restos del horno de cal

La reconstrucción de la Fase II, el momento del abandono del horno, fue mucho más sencilla ya que consistió únicamente en dejar visible la parte inferior de los muros, mostrar las UE necesarias, y cubrir con maleza el resto, dando la impresión de que aquel lugar había sido olvidado hace tiempo.

El cobertizo de mediados del siglo XIX, que pertenece a la Fase III, fue también bastante sencillo de reconstruir, siempre partiendo del muro UE 309 y de la fosa UE 306. Se simuló un muro de mampuesto como continuación vertical de UE 309 y un fuerte poste encastrado en UE 306 que soportaban una techumbre de madera y ramaje. El resto de los muros del cobertizo se hicieron de madera. Entendemos que se trataba de una caseta provisional para ser usada durante el trascurso de los trabajos de construcción de la vía de ferrocarril, cuyo muro norte se construiría de piedra para ofrecer más resistencia al temporal y ayudar a sostener al resto, más débiles. Los datos que conservamos de este cobertizo, sin embargo, son muy pobres y tenemos que reconocer que esta reconstrucción es hipotética (Fig. 60).

Las reconstrucciones de la explotación agrícola y de la excavación son aproximadas, utilizando modelos tridimensionales de libre acceso, para dar simplemente la idea de lo que ocurrió en este pequeño espacio a lo largo de la historia. Esa es, en cierto modo, una de las posibilidades más interesantes de este tipo de reconstrucciones: permiten al espectador centrar la vista en un espacio reducido y ver cómo este se modifica a lo largo del tiempo.

## DISEÑO DE LA APLICACIÓN «EL HORNO DE MONTESA»

El primer paso fue establecer el objetivo concreto que queríamos lograr con la aplicación: dar la posibilidad de realizar una visita virtual interactiva, tanto de la excavación arqueológica, como del horno de cal en su época de uso. Para ello hemos utilizado el motor de juegos Unity 4, cuya versión completa puede descargarse desde su página web (<https://store.unity3d.com/>) de forma gratuita para ser usada durante 30 días.

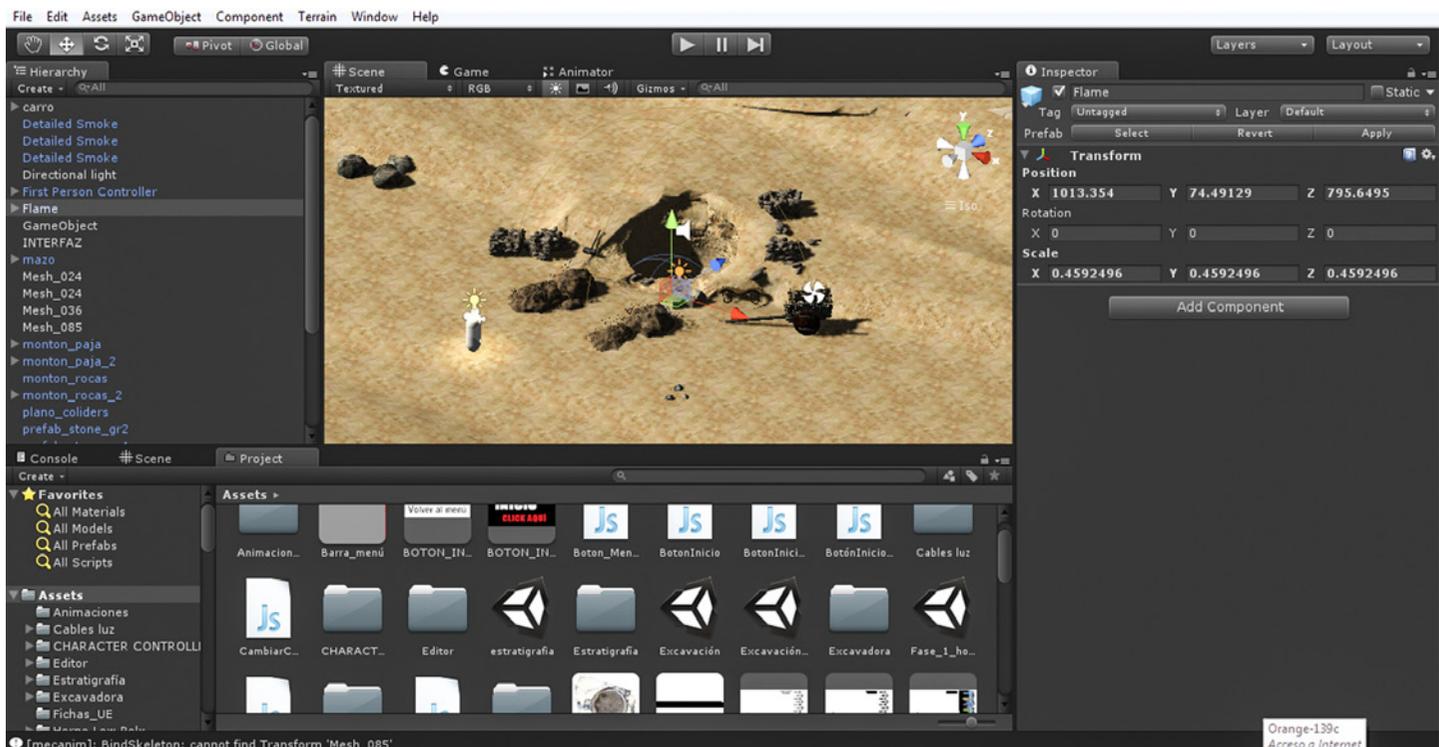


Figura 61.- Captura de pantalla de Unity 3D durante el proceso de creación de la escena de la reconstrucción del horno

La compatibilidad de este software con Blender ha facilitado mucho la incorporación de los modelos 3D a los entornos virtuales, así como la biblioteca de modelos 3D gratuitos de Google Sketchup (<http://sketchup.google.com/3dwarehouse/>), de donde hemos conseguido algunos de los modelos que ambientan las diferentes escenas de la aplicación (Fig. 61).

## LA VISITA A LA EXCAVACIÓN ARQUEOLÓGICA DEL HORNO DE MONTESA

En la primera escena se nos permite visitar una parte de la excavación de Quintaret donde fue encontrado el horno de Montesa. Guiándonos por fotografías y la planimetría de AutoCad de la excavación, hemos reconstruido el ambiente de forma verídica, para que el usuario pueda observar las circunstancias en las que fue encontrado el horno (Fig. 62 y 63).



Figura 62.- Vista de la terraza norte del yacimiento de Quintaret, donde fue hallado el horno de Montesa. (Cotino et al. 2012, 46).



Figura 63.- La misma vista que en la figura anterior, pero dentro de la aplicación del horno de Montesa

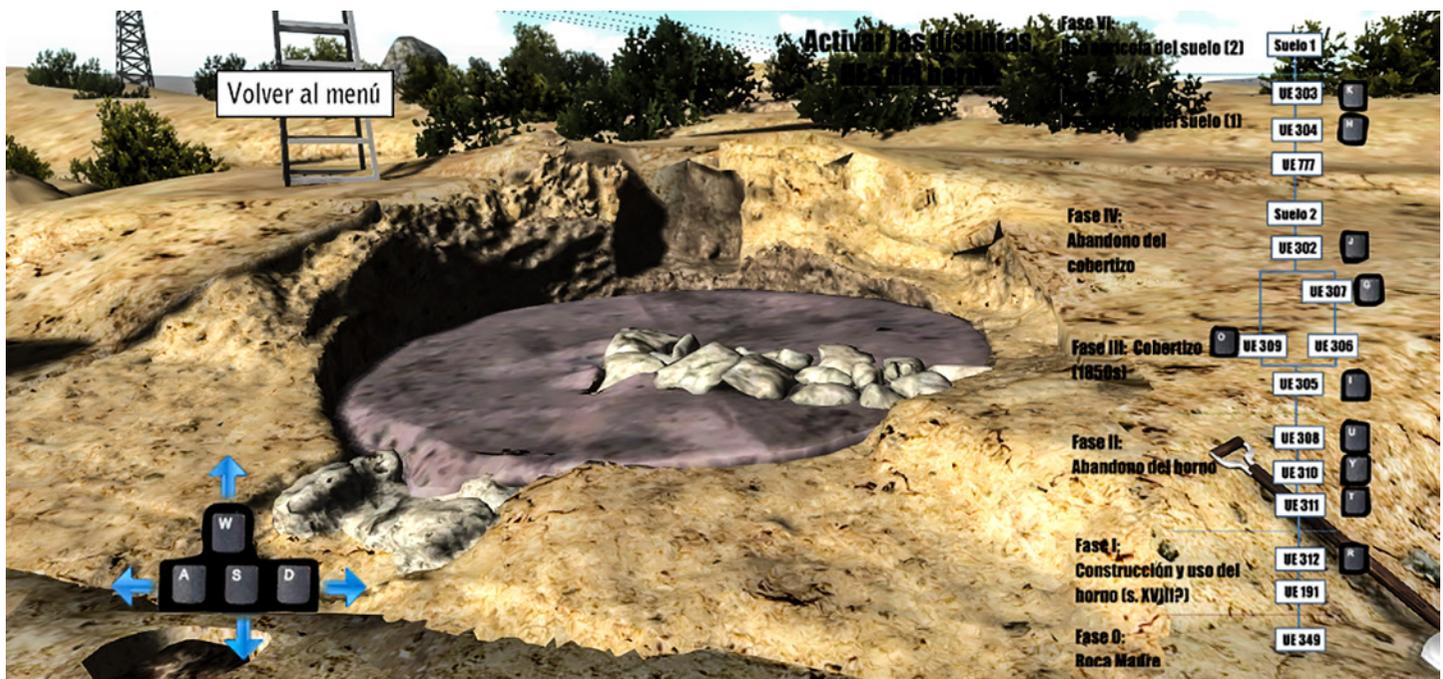


Figura 64.- En esta ocasión, hemos activado alguna de las UE para que sea posible observar de forma virtual dónde fueron excavadas

En esta misma escena hemos incluido el modelo fotogramétrico del horno de Montesa, de modo que pueda observarse tal y como apareció en la excavación. Sin embargo, no hemos querido quedarnos simplemente en ofrecer un paseo por la recreación virtual de una excavación arqueológica; al fin y al cabo, el modelo del horno se puede observar mejor en un PDF 3D y ya existen multitud de fotografías que permiten hacernos una idea de cómo fue la excavación. Para hacer realmente interactiva y enriquecedora la visita virtual, hemos programado la posibilidad de ir mostrando u ocultando, a modo de capas, las UE que fueron colmatando el horno y que componen la Matrix Harris del contexto.

Las distintas UE se «activan» o «desactivan» pulsando en el teclado ciertas letras. La letra con la que se puede activar cada UE aparece reflejada en todo momento en la pantalla al lado del nombre de esa UE en la Matrix Harris del horno. De este modo se puede «reconstruir» la excavación y observar dónde se encontraba cada una de las UE y cómo se fue formando el registro arqueológico. Todo esto mientras se observa la Matrix Harris del contexto (Fig. 64).

Pese a que se trata de un prototipo, creemos que los resultados han sido buenos y las posibilidades que ofrecen este tipo de aplicaciones son muy grandes, ya no sólo para ser utilizadas en ordenadores personales, sino también para enriquecer los contenidos de un museo o exposición temporal, por ejemplo.

## LA VISITA AL HORNO DE MONTESA DURANTE SU ÉPOCA DE USO (SIGLO XVIII – MEDIADOS DEL SIGLO XIX)

La segunda escena consiste en una visita virtual al horno durante la época que fue utilizado, muy probablemente en algún momento del siglo XVIII o inicios del XIX. A la hora de reconstruir esta escena hemos adaptado la planimetría de la excavación a un entorno rural, similar al que pudo rodear la calera (Fig. 65).

De nuevo, no hemos querido quedarnos en la mera visita virtual, pues creemos que para que estas herramientas aporten de verdad un conocimiento añadido, deben incluir siempre una interactividad que no permiten los textos, fotografías o vídeos. Para ello damos la posibilidad al usuario de que, siguiendo las instrucciones que vienen referidas a la derecha de la pantalla,

recree el proceso de construcción de un horno de cal, tal y como se habría hecho en el siglo XVIII (Fig. 66).



Figura 65.- Vista del horno de cal en funcionamiento, tal cual podría ser observado en el siglo XVIII

Aquí puede verse un vídeo en el que se muestra cómo funciona esta aplicación:

[https://www.youtube.com/watch?v=\\_aUKxqyh9xE](https://www.youtube.com/watch?v=_aUKxqyh9xE)

De nuevo, esta aplicación es únicamente un prototipo y existen muchos caminos para mejorarla y enriquecerla históricamente. Ante todo constituye, en nuestra opinión, una nueva forma de enseñar los resultados de una investigación de forma didáctica, amena y altamente divulgativa, pero no por ello exenta de veracidad histórica y arqueológica. Durante los próximos años es probable que asistamos a un aumento en el uso de este tipo de herramientas, que pueden hacerse accesibles online en las páginas web de los distintos proyectos o mediante ordenadores dedicados en museos o parques arqueológicos.

# Capítulo 4

## Puesta en valor y divulgación



No queríamos dejar pasar esta oportunidad para ocuparnos también de otro de los temas que más preocupan a la arqueología en la actualidad: la difusión, no sólo de sus resultados, sino también de su forma de trabajar. La arqueología es una ciencia que hoy más que nunca necesita de una profesionalización que, entre otras cosas, pasa por la justificación social y la eliminación de mitos. Basta de Indianas Jones, pistolas y explosiones: debemos mostrar en público nuestra verdadera forma de trabajar, nuestra metodología y sus resultados más allá de los «grandes hallazgos». Es necesaria una correcta divulgación arqueológica y, para ello, debemos aprovechar los nuevos medios de la llamada web 2.0.

Durante la realización de esta investigación, hemos partido de la premisa de que la divulgación no sólo se puede hacer tras concluir el estudio arqueológico y haber obtenido los resultados, sino también durante su realización, desde el mismo momento en el que se plantean sus objetivos. De esta forma, no sólo se consigue que la divulgación de los resultados finales tengan ya gran parte del camino hecho, sino que se muestra el día a día de nuestro trabajo como arqueólogos, acercando nuestra profesión a la sociedad.

Algunos autores ya han apuntado, cómo gracias a la web 2.0, se puede realizar un tipo de divulgación científica muy fructífera antes de la publicación definitiva de los resultados científicos (Zapata-Ros, 2011, 3). Este tipo de artículos —anteriores a las publicaciones científicas— que se publican en las páginas web, blogs o espacios en las redes sociales propios de cada proyecto, constituyen una suerte de *preprints* en los que, si bien no se aportan los datos científicos en bruto, sí se presentan las principales hipótesis, ideas y métodos de trabajo que se están llevando a cabo, permitiendo así una mayor inmersión social en el objeto de estudio. Si nuestro deber es investigar el patrimonio histórico-artístico, resulta especialmente importante construir estos lazos arqueólogo-sociedad.

Para demostrar las posibilidades de este método de divulgación, creamos un blog llamado *El Horno de Montesa* al inicio de la investigación que hemos

ido actualizando periódicamente según se llevaban a cabo avances interesantes. Se tuvo especial precaución con la publicación de determinados datos o imágenes ya que, como ya hemos indicado, los resultados de la excavación todavía no habían sido publicados. Hemos de ser cautos, pero si tenemos en cuenta que este tipo de divulgación no constituye en ningún modo una publicación a efectos legales —ya que hablamos siempre de *prepints* o pre-publicaciones— no debemos tener demasiado miedo a conectar nuestro trabajo con la sociedad. Los beneficios a la hora de enriquecer el conocimiento de nuestro pasado y poner en valor el patrimonio cultural son enormes.

Un importante complemento a la realización de este blog ha sido la difusión del mismo a través de las redes sociales. En la actualidad existe un flujo cada vez mayor de noticias y artículos sobre arqueología y patrimonio que encuentran su público a través de internet y de las redes sociales. Esto está permitiendo la creación de comunidades en las que no sólo hay expertos en estas disciplinas, sino también estudiantes e interesados, creándose además innumerables puertas para que la información acabe llegando a gente de otros ámbitos. El compartir datos de terceros es fundamental en el sistema de las redes sociales y permite que la difusión sea efectiva, sencilla y gratuita. Debemos destacar, además, la posibilidad de un diálogo directo entre los autores de una investigación y el resto de colegas de la disciplina:

«Las redes sociales son pues el exponente más completo de la llamada web social, y por ende de la web social científica. Los investigadores, y otras personas de la actividad científica (editores, revisores, docentes, desarrolladores de aplicaciones, documentalistas,...) de forma individual, a través de entidades o grupos, se relacionan y se comunican de forma instantánea, simultánea e interactiva para compartir resultados, proyectos, recursos, informaciones y documentación.» (Zapata-Ros, 2011, 8).

Este tipo de uso de las redes sociales permite un avance investigador mayor, ya que expertos de todo el mundo —solo depende de lo grande que sea tu red de contactos— pueden participar, en cierto modo, en los engranajes de tu investigación. De esta forma, se conocen los intereses científicos de unos y otros expertos y se comparte información, recursos y documentos a tenor de las diferentes investigaciones que se estén llevando a cabo (REBIUN, 2010, 6). Con este fin se hemos usado diversas plataformas como LinkedIn, Facebook o Twitter, y hemos recibido apoyos, recomendaciones y

sugerencias a la hora de realizar la investigación sobre el horno de Montesa, caminando en muchas ocasiones entre la divulgación y la investigación.

«El concepto de red social, en el contexto de la ciencia 2.0, debe entenderse como la comunidad científica que emplea tecnologías participativas para el intercambio de información. [...] Las relaciones entre profesionales encuentran un espacio idóneo en las redes sociales, especialmente en las de carácter académico y profesional». (REBIUN 2010, 6).

A lo largo de este proyecto hemos observado cómo las personas que en un principio se interesan por nuestro proyecto son los propios arqueólogos e investigadores que se ocupan de temas similares. Más adelante, debido a la difusión de las actualizaciones de nuestro blog, se comienzan a hacer eco plataformas de divulgación histórica y gente interesada en la materia, y es entonces cuando comienzan a funcionar los engranajes de la divulgación.

También debemos destacar, no obstante, un grupo muy grande que, sin establecer interacción virtual con nosotros, siguen nuestros avances y están al corriente de la investigación, y así nos lo han comunicado en persona más adelante.

Nuestro blog *El Horno de Montesa* ha recibido buenas críticas y un total de 5840 visitas entre diciembre de 2012 y mayo de 2013. Estas han sido realizadas desde decenas de países diferentes, destacando España, EEUU, Alemania y Letonia.

Debemos destacar que las actualizaciones de nuestro blog relacionadas con la arqueología virtual tuvieron un número mayor de visitas y mejor acogida que aquellas dedicadas a temas más arduos como la documentación histórica. Esto se debe, tanto a la mayor espectacularidad de los resultados, como al creciente interés que existe actualmente hacia las nuevas tecnologías y su aplicación en patrimonio. Creemos que ésta puede ser otra de las vías por las que mostrar cómo funciona el trabajo arqueológico tradicional, aprovechando la actual fama de las nuevas tecnologías como gancho para enseñar nuestro trabajo diario.

Es interesante destacar también los problemas que nos encontramos con esta puesta en marcha de una «arqueología en directo» que implique la difusión diaria de nuestros avances en una investigación.

Durante la puesta en marcha de esta estrategia de difusión encontramos muchas trabas que tuvimos que superar para poder llegar a todo el mundo. Principalmente se debieron a que, como ocurre en otras tantas investigaciones, los datos con los que trabajábamos estaban sin publicar. La inmediatez informativa que caracteriza a la sociedad actual tiene el gran atractivo de poder mostrar el desarrollo de los trabajos arqueológicos día a día y esto implica hallazgos inesperados que, obviamente, no han sido publicados todavía. Este tipo de publicaciones que se adelantan al artículo «oficial» constituyen una serie de *preprints* que permiten llegar antes al público, mostrar las entrañas de una investigación y crear interés ante la publicación final.

Nos topamos con el recelo de muchos profesionales a hablar siquiera de aquello en lo que están trabajando. Este es un miedo bastante común que hunde sus raíces, quizás, en las malas prácticas de ciertos individuos que se dedican a usurpar ideas, información, fotografías y trabajo de forma muy sucia y poco ética. Entendemos, sin embargo, que no existe mayor aliado que la transparencia profesional para dejar claro cómo se ha hecho un trabajo y quién lo ha hecho, impidiendo así el robo del mismo por parte de terceros. El celo excesivo para que nadie pueda usurpar lo que es nuestro, provoca que finalmente los resultados de las investigaciones queden ocultos al conjunto de la sociedad, por lo que también es algo a evitar.

En nuestro caso, además, teníamos unas ataduras mayores: la excavación del horno de Montesa todavía no estaba publicada de forma oficial ni se habían entregado los informes preliminares. Pese a tratarse de una obra pública, ésta había sido encargada a una empresa subcontratada que exige confidencialidad a los arqueólogos. Resulta paradójico, llegados a este punto, que los hallazgos arqueológicos de una obra pagada con dinero público no puedan ser conocidos por todos. Sin embargo, tuvimos que respetar esta confidencialidad por el bien de los compañeros que llevaron a cabo la excavación. Para ello, a la hora de escribir los artículos en el blog, tomamos una serie de precauciones:

a) pedir siempre los permisos necesarios a los arqueólogos que excavaron el yacimiento;

b) no aportar detalles sobre la localización exacta del mismo, eliminando el nombre de Quintaret y adoptando simplemente el de la localidad más cercana, en este caso Montesa;

c) no mostrar imágenes originales que no hubieran sido publicadas, utilizando siempre imágenes de baja-media resolución que habían sido modificadas de algún modo, con derechos Creative Commons o directamente creadas por nosotros;

d) «censurar» cierta información impidiendo que ésta pudiera ser vista por el lector. Para ello usamos corchetes, puntos suspensivos en color rojo, junto a frases pensadas para llamar la atención al lector y así poner la eliminación voluntaria de información a nuestro favor: se crean expectativas y se incluye el factor misterio en las publicaciones;

e) nos centramos en el proceso de trabajo y en la metodología, más que en los resultados en sí. Esto nos permitió hacer reflexiones, abrir debates, comentar técnicas, etc., sin tener que aportar detalles arqueológicos que debían ser obviados.

La redacción de este blog se completó de forma activa, como ya hemos aludido, con la difusión atractiva de los artículos a través de las redes sociales, abriendo debates que se desarrollaban principalmente en estos espacios y no en los comentarios que permiten las entradas del blog, lo que también es algo a tener en cuenta.

Todas estas estrategias nos ofrecieron muy buenos resultados a la hora de transmitir la información histórica y arqueológica sin tener que romper el derecho a la confidencialidad, manteniendo el interés por el horno de Montesa y permitiendo la socialización de nuestra forma de trabajar, así como de una parte de nuestro patrimonio.



# Capítulo 5

## Conclusiones



Durante la realización de este trabajo de investigación, se han conseguido muchos de los objetivos planteados al inicio, se han obtenido algunos resultados inesperados y algunas otras cosas han quedado en el tintero. Nuestro objetivo de centrarnos en el estudio pormenorizado de una estructura y su contexto arqueológico ha sido cumplido con creces, mostrando las posibilidades de la arqueología virtual a la hora de analizar y reconstruir los datos arqueológicos.

Pese a que este tipo de acercamiento al patrimonio arqueológico puede parecer la antítesis de una macro-arqueología, de una arqueología global, creemos que el estudio del horno de Montesa ha enriquecido también el paisaje histórico de esta localidad, aumentando la información acerca de la sociedad, la industria y la economía de Montesa en los albores de la Edad Contemporánea. No olvidemos que hasta ahora no se había documentado ninguna calera en este municipio y, por lo tanto, tampoco había constancia de toda la serie de relaciones laborales y sociales que implicaba el desarrollo de esta actividad pre-industrial en la zona.

Este trabajo nos ha servido, además, para sondear los límites de una de las técnicas de levantamiento tridimensional que más importancia están cobrando en los últimos años: la fotogrametría digital. Gracias a la disposición del modelo láser del horno, hemos podido comprobar la exactitud de un levantamiento fotogramétrico realizado *a posteriori*, sin fotografías expresamente tomadas para ello, con todas las ventajas que el desarrollo de esta práctica puede tener a la hora de recuperar una imagen precisa del patrimonio perdido —ya que, por desgracia, el patrimonio perdido nunca se puede recuperar—.

Queremos destacar, por último, los resultados didácticos y divulgativos que ha tenido este trabajo y que, al inicio, no podíamos imaginar. Recuperar, poner en valor y divulgar una estructura de combustión como ésta, que ya no es visitable *in situ* al haber sido cubierta de nuevo por las obras del AVE, no se planteaba como una tarea fácil, pues hemos de reconocerlo, los propios

restos no resultaban atractivos. Gracias a las distintas técnicas de arqueología virtual hemos conseguido hacer atrayente e interesante una parte de nuestro patrimonio que, de otro modo, habría pasado totalmente desapercibida para el público en general, interesando sólo a expertos en la materia. Un horno de cal no es una villa romana, ni un castillo medieval, carece de monumentalidad y su huella arqueológica es verdaderamente pobre. Las distintas recreaciones 3D, la búsqueda y publicación de información «en directo» en el blog, y la creación de la aplicación de visita interactiva *El Horno de Montesa*, han conseguido encender en mucha gente la llama del interés por este tipo de hornos pre-industriales.

La creación de la aplicación *El Horno de Montesa* es una de las partes de este proyecto a la que nos hubiera gustado dedicar más tiempo, ampliando las posibilidades y la funcionalidad de la misma. Este tipo de intervenciones virtuales, sin embargo, necesitan de una realización colectiva multidisciplinar, donde informáticos y arqueólogos trabajen codo con codo para poder conseguir grandes resultados en un tiempo aceptable; de lo contrario, el tiempo que se dedica es excesivo y se encuentran en ocasiones baches insalvables. Pese a todo, como hemos demostrado, es posible hacer aplicaciones sencillas y atractivas de forma individual.

Todo este trabajo concluye con una valoración muy positiva de la investigación y puesta en valor realizada no sólo de una parte del patrimonio de Montesa sino también de los hornos de cal en general, parte de nuestro pasado preindustrial que se está perdiendo. La arqueología virtual ha tenido mucho que ver en esta puesta en valor, demostrando las posibilidades de las nuevas tecnologías para acercar el patrimonio a la sociedad. Éstas no deben ser «aislantes» sino «conductores» en nuestro trabajo, permitirnos relacionarnos más y mejor, hacer llegar a todo el mundo con mayor facilidad no sólo los resultados sino también los procesos de nuestras investigaciones. De este modo, la arqueología virtual se desvela también como una interesante herramienta para garantizar la transparencia científica, primer paso hacia una divulgación de calidad.

# Anexo I

## Análisis antracológico del horno de cal de Montesa

Yolanda Carrión Marco



Presentamos los resultados del análisis del material carbonizado recuperado en el interior de una gran estructura de combustión tipo horno (Estructura Q036) de grandes dimensiones (más de 3 m de diámetro), excavado en la roca natural.

En el interior de la cámara de combustión (UE 312) se recuperó abundante materia orgánica carbonizada. Se trata en su mayor parte de fragmentos de ramitas de calibre entre 1 y 5,5 mm de diámetro que, por sus características, deben pertenecer a la última alimentación de leña del horno, que se encuentra *in situ* en el interior de la cámara.

Además, se ha recuperado carbón de la UE 308, que corresponde a un momento de reutilización de la estructura con funcionalidad indeterminada por el momento; en todo caso, es evidente la acción del fuego en este uso, ya que se documentan restos de carbón y fragmentos de mampuesto quemados.

El análisis de los carbones consiste en la identificación botánica de los mismos, es decir, saber de qué especies vegetales proceden. Para ello, el carbón se observa a través de un microscopio óptico de luz reflejada de campo claro-oscuro, con diferentes objetivos que van desde 50 a 1000 aumentos. La madera, al quemarse, preserva su estructura anatómica, permitiendo su comparación con una colección actual de referencia y/o la bibliografía especializada en anatomía vegetal. El listado de taxones identificado nos dará pues, el elenco de especies que han sido explotadas en un momento dado del pasado y que probablemente formaban parte de las formaciones vegetales existentes en el entorno del yacimiento, dentro de su radio de explotación.

Los resultados del análisis han demostrado el uso de diversas especies, que se detallan en el Cuadro 1 (Fig. 67).

El conjunto de taxones identificados en la UE 312 remite a la existencia de una formación de matorral bajo de tipo termomediterráneo, dominado por leguminosas, labiadas y jaras (Fig. 68).

Estructura	Q036		
UE	308	312	
Taxones	Nº	Nº	%
<i>Cistus</i> sp. (jara)		19	11,18
<i>Daphne/Thymelaea</i> (de la familia del torvisco)		2	1,18
<i>Juglans</i> sp. (nogal)	19		
Labiada (de la familia del tomillo)		37	21,76
cf. Labiada		5	2,94
Leguminosa (de la familia de la genista)		62	36,47
Monocotiledónea tp. <i>Chamaerops</i> (palmito)		7	4,12
<i>Quercus perennifolio</i> (carrasca-coscoja)		4	2,35
<i>Rhamnus-Phillyrea</i> (aladierno-labiérnago)		8	4,71
<i>Tamarix</i> sp. (taray)		5	2,94
Corteza		4	2,35
Angiosperma indeterminable	1	17	10
Total	20	170	100

Figura 67.- Especies presentes en el horno de Montesa

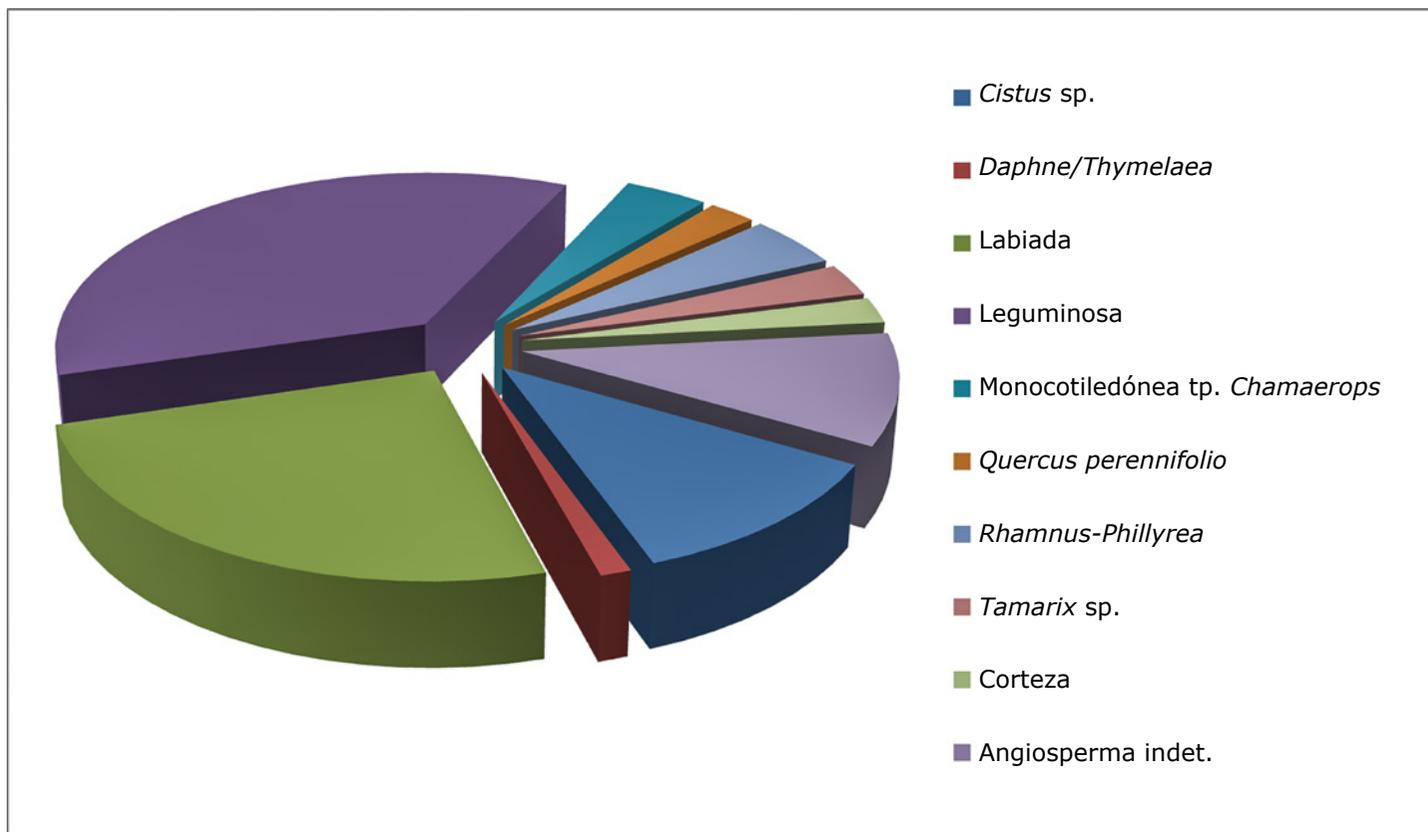


Figura 68.- Gráfico del conjunto de taxones de la UE 312

Es posible que entre los taxones leguminosa y labiada estén presentes diversas especies, pero la similitud de su anatomía nos ha impedido identificar los carbones más allá del rango de familia; así, entre las leguminosas, serían características de nuestra zona de estudio las genistas o las aliagas, mientras que las labiadas podrían englobar diversas especies de salvia, tomillo y otras aromáticas. De este modo, la riqueza del matorral sería mayor de lo que se evidencia a partir del análisis de los carbones.

Completarían la lista florística otras especies en mucho menor porcentaje, como la coscoja, el aladierno o labiérnago, el torvisco o el palmito, indicador de unas condiciones biogeográficas muy cálidas. El taray es una especie asociada a cursos de agua de medios áridos a secos, que crece frecuentemente en el cauce u orillas de ramblas o cursos intermitentes de carácter mediterráneo, pudiendo soportar también condiciones de salinidad. Nos estaría indicando la existencia de un ombroclima de tipo seco.

El conjunto de especies presentes en la cámara del horno responden a una determinada gestión de combustible para la alimentación de la estructura, consistente en la selección preferente de especies de matorral que debían crecer en un entorno cercano al yacimiento, dada la coherencia ecológica con nuestra zona de estudio. No hay que descartar, sin embargo, la presencia de otras especies leñosas en la zona sólo por su ausencia en el carbón. La selección de especies de matorral puede responder a la necesidad de un determinado tipo de fuego, ya que éstas producen una llama viva y de rápido prendido, a diferencia de los troncos de gran calibre que tiene mayor duración y pueden alcanzar mayor temperatura de combustión.

En cuanto al contenido de la UE 308, se ha documentado un único taxón, *Juglans*, lo cual es coherente con un uso puntual de la estructura, de corta duración y posiblemente con una única alimentación del fuego para el que se habrían utilizado algunas ramas de nogal. Esta especie podría haber crecido entre los frutales de las alquerías existentes en la zona, ya que se plantaba frecuentemente por ser muy apreciados tanto sus frutos como su madera.



# Anexo II

## Análisis de C14 de la UE 312



Con el objetivo de conocer la cronología aproximada de la última cocción que se llevó a cabo en el horno de Montesa, hemos realizado una datación de C14 de la UE 312, sobre una muestra de un elemento singular de vida corta (semilla de *Ruscus* sp).

El laboratorio en el que se han llevado a cabo las pruebas nos ha aportado los resultados que se pueden observar en el cuadro de la Fig. 69.

Beta - 348072: 80 +/- 30 BP  
SAMPLE : QUIN036UE312  
ANALYSIS : AMS-Standard delivery  
MATERIAL/PRETREATMENT : (charred material): acid/alkali/acid  
2 SIGMA CALIBRATION : Cal AD 1680 to 1730 (Cal BP 260 to 220) AND Cal  
AD 1810 to 1930 (Cal BP 140 to 20)  
Cal AD Post 1950

Figura 69.- Datación de Carbono 14

Posteriormente se ha usado el software Calib 7.0 html para llevar a cabo la calibración (Fig.70).

Existen un 95,4% de posibilidades de que los restos de la UE 312 analizados pertenezcan a un momento entre 1690 y 1925, con un 74% de probabilidades de que la fecha real se encuentre en el intervalo comprendido entre 1810 y 1825, como nos muestra el gráfico resultante de la calibración. La presencia de una construcción datada hacia 1850, estratigráficamente posterior a la UE 312, nos sirve además de término *ante-quem* para datar la cocción y nos ratifica los datos obtenidos mediante la datación de C14 .

68.3 (1 sigma)	
cal AD 1697-1725	0.312
1814-1835	0.212
1877-1917	0.470
1952-1954	0.006
95.4 (2 sigma)	
cal AD 1690-1730	0.259
1810-1925	0.727
1951-1955*	0.014

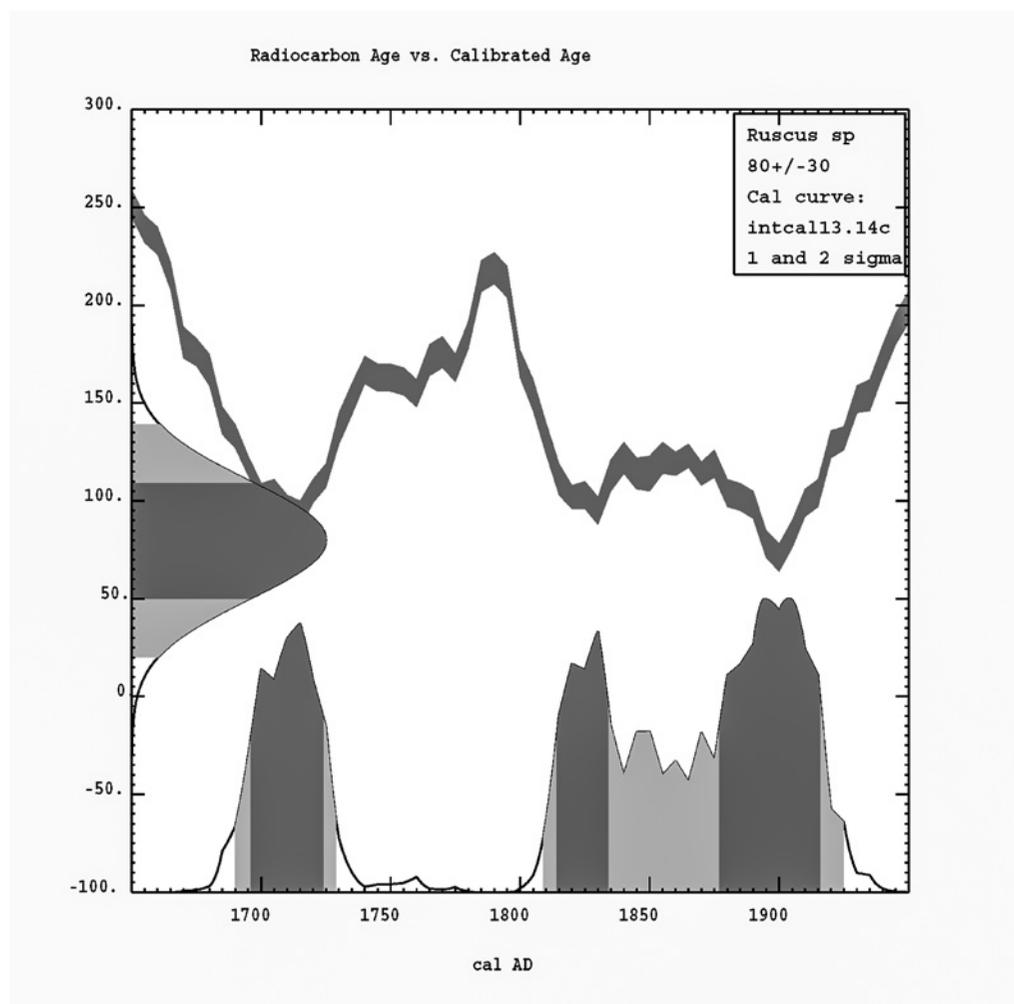


Figura 70.- Datación de Carbono 14. Calibración realizada con Calib 7.0 html.

# Anexo III

## Lista de unidades estratigráficas del horno de cal de Montesa



A continuación se presenta el listado de UE que se mencionan a lo largo del presente trabajo. Agradecemos enormemente la disponibilidad de los profesionales de Global Geomática S.L., que nos cedieron amablemente estas fichas de unidades estratigráficas para poder llevar a cabo nuestro trabajo.

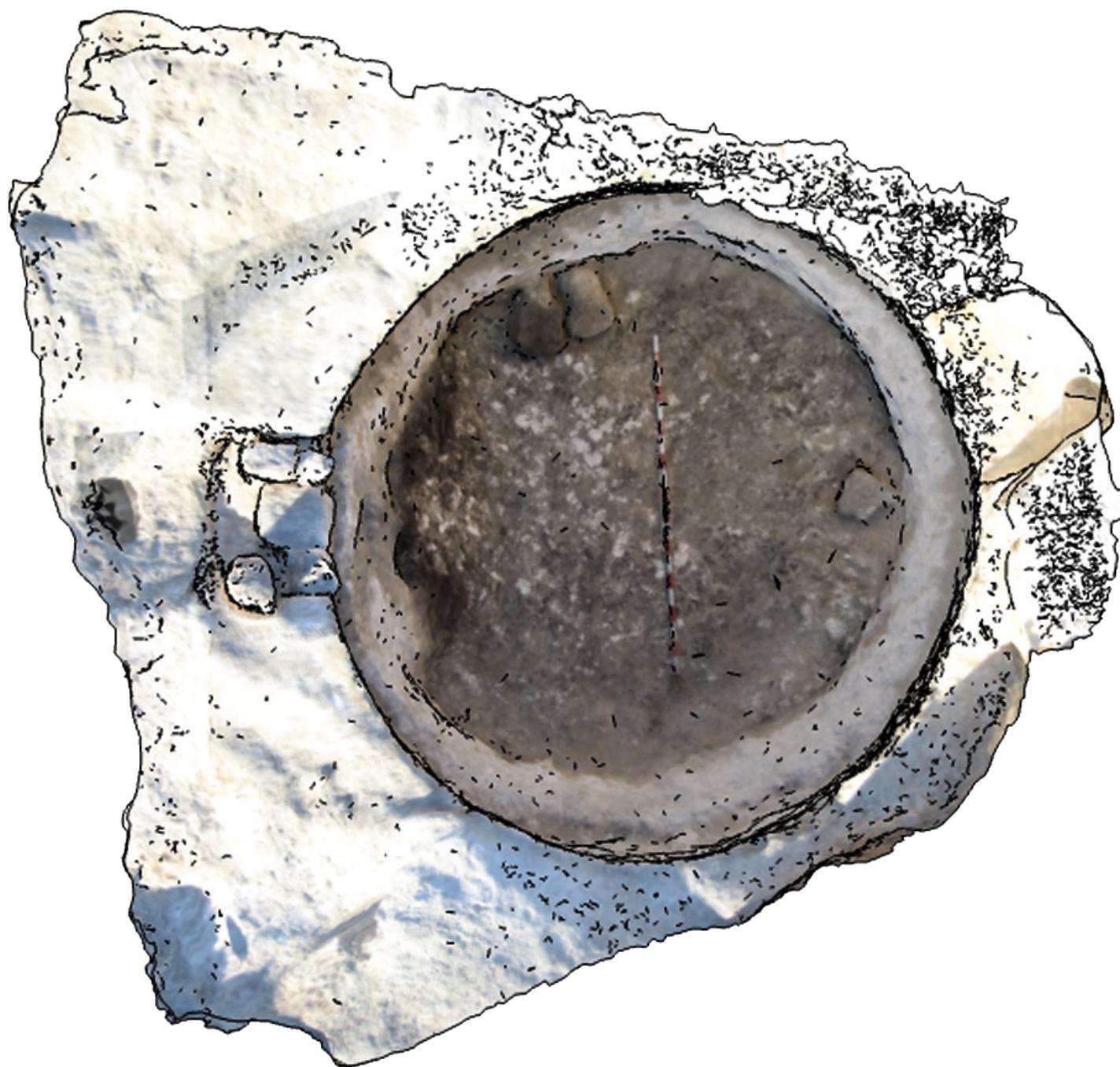


Figura 71.- Vista ortogonal de la estructura de combustión u horno. UE 191.

## **UE 191**

**Sector:** Quintaret.

**Fecha:** Enero-febrero 2012.

**Tipo:** Fosa de combustión (horno).

**Descripción morfológica:** Estructura de combustión de grandes dimensiones excavada en la roca madre.

**Técnica:** Excavación.

**Materiales:** Roca madre.

**Cubierto por:** 302, Suelo 2.

**Rellena por:** UE 312, 311, 310, 309, 308, 305.

**Se adosa a:** -

**Cubre a:** -

**Corta a:** UE 349.

**Comentarios:** -

**Técnica de excavación:** A mano.

**Interpretación:** Horno de cal.

**Cronología:** Contemporánea.

**Imagen:** Fig. 71.



**COTAS**

- 1: Sup. 211,77 Inf. 211,36
- 2: Sup: 211,80 Inf. 211,49
- 3: Sup: 211,75 Inf. 211,54
- 4: Inf: 211,39
- 5: Sup: 211,64 Inf. 211,41
- 6: Inf: 211,65
- 7: Sup. 211,84 Inf. 211,79
- 8: Sup: 211,74 Inf. 211,64

**POTENCIA DE LA UE  
(DIF. DE COTAS)  
(m)**

- 1: 0,41
- 2: 0,31
- 3: 0,21
- 5: 0,23
- 7: 0,05
- 8: 0,10

Figura 72.- UE 302

## **UE 302**

**Sector:** Quintaret.

**Fecha:** 16/01/2012.

**Tipo:** Relleno.

**Composición:** Presencia escasa de cenizas, carbones, ladrillos y escorias.

**Descripción:** Estrato de tierra «tapenca» de coloración beige con presencia de fragmentos de roca «tap», piedras, restos vegetales.

**Cubierto por:** Tierra plantación árbol.

**Cubre a:** 191, 306, 307, 349.

**Se adosa a:** UE 305.

**Comentarios:** Posiblemente proviene de la construcción de la línea férrea.

**Técnica de excavación:** A mano.

**Interpretación:** -

**Material:** Conjunto de cerámica formado por cerámica bizcochada. Cerámica de cocina vidriada de color naranja.

**Cronología:** Siglo XIX.

**Autor:** Pignatelli.

**Imagen:** Fig. 72.

**COTAS**

1: Sup. 212,32 Inf. 211,92  
2: Sup: 212,37 Inf. 211,94



**POTENCIA DE LA UE  
(DIF. DE COTAS)  
(m)**

1: 0,40  
2: 0,43

Figura 73.- UE 303

### **UE 303**

**Sector:** Quintaret.

**Fecha:** 16/01/2012.

**Tipo:** Relleno.

**Composición:** Presencia escasa de materia orgánica. Formada por arcilla y gravas.

**Descripción:** Relleno de tierra arcillosa de coloración marrón-naranja compacta, con restos vegetales, fragmentos de «tap» y alguna grava.

**Cubierto por:** UE suelo contemporáneo 1.

**Cubre a:** 304.

**Relleno de:** UE 777.

**Comentarios:** Tierra vegetal aportada por la agricultura actual.

**Técnica de excavación:** A mano.

**Interpretación:** tierra aportada para el cultivo de naranjos.

**Material:** 1 fragmento de cerámica bizcochada contemporánea.

**Cronología:** Contemporánea.

**Autor:** Pignatelli.

**Imagen:** Fig. 73.

**COTAS**

1: Sup. 211,92 Inf. 211,53  
2: Sup: 211,94 Inf. 211,52



**POTENCIA DE LA UE**  
(DIF. DE COTAS)  
(m)

1: 0,39  
2: 0,42

Figura 74.- UE 304

## **UE 304**

**Sector:** Quintaret.

**Fecha:** 16/01/2012.

**Tipo:** Relleno.

**Composición:** -

**Descripción:** Relleno de tierra limosa (decantada) de coloración gris claro verdoso sin ningún tipo de elemento material.

**Cubierto por:** UE 303.

**Cubre a:** UE 349.

**Relleno de:** UE 777.

**Comentarios:** Parece tierra «tapenca» decantada.

**Técnica de excavación:** A mano.

**Interpretación:** -

**Material:** No hay material cerámico.

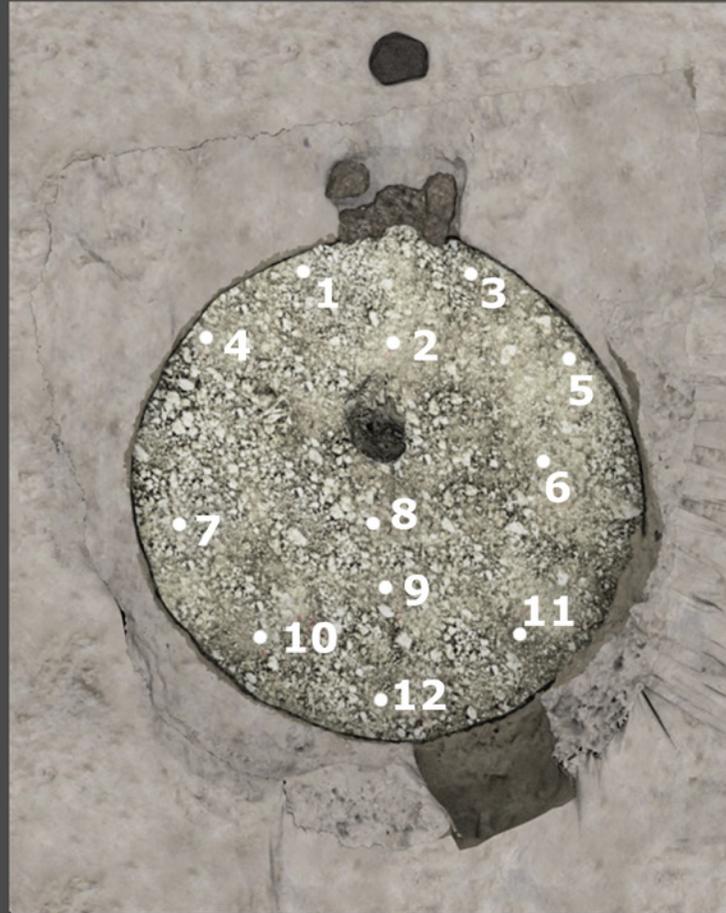
**Cronología:** -

**Autor:** Pignatelli.

**Imagen:** Fig. 74.

**COTAS**

- 1: 211,79
- 2: Inf. 210,93
- 3: 211,64
- 4: Inf. 211,27
- 5: Inf. 210,87
- 6: 211,56
- 7: Inf. 210,96
- 8: 211,52
- 9: Inf. 2101,60
- 10: Sup: 211,49 Inf. 210,74
- 11: 211,50
- 12: Inf: 210,77



**POTENCIA DE LA UE  
(DIF. DE COTAS)  
(m)**

- 1-4: 0,52
- 3-2: 0,71
- 6-5: 0,69
- 8-7: 0,56
- 10: 0,75
- 11-12: 0,73

Figura 75.- UE 305

## **UE 305**

**Sector:** Quintaret.

**Fecha:** 16/01/2012.

**Tipo:** Relleno.

**Composición:** Presencia escasa de carbones y malacofauna; frecuencia escasa de ladrillos y cal.

**Descripción:** Relleno de tierra limosa-arcillosa compuesto principalmente por tierra «tapenca» de coloración blanquecina, con presencia de escasos ladrillos, mampuestos irregulares cuarteados, cenizas, pequeños carbones, restos vegetales, fragmentos de roca «tap». Textura limosa.

**Cubierto por:** UE 302, 309.

**Cubre a:** 308.

**Relleno de:** UE 191.

**Comentarios:** Primer relleno del horno 191 propiamente dicho.

**Técnica de excavación:** A mano.

**Interpretación:** Relleno de tierra procedente de la excavación de la línea férrea del siglo XIX, nivelando el horno a nivel del suelo probablemente para ocupar la estructura.

**Material:** no hay material.

**Autor:** Pignatelli.

**Imagen:** Fig. 75.

**COTAS**

1: 211,01  
2: 211,53



**POTENCIA DE LA UE  
(DIF. DE COTAS)  
(m)**

1-2: 0,52

Figura 76.- UE 306

**UE 306**

**Sector:** Quintaret.

**Fecha:** 28/01/2012.

**Tipo:** Fosa.

**Descripción morfológica:** Fosa excavada en la roca «tap», de planta circular, paredes rectas y verticales y base plana.

**Altura:** 52 cm.

**Cubierto por:** UE 302.

**Corta a:** UE 349.

**Relleno de:** UE 307.

**Comentarios:** primer relleno del horno 191 propiamente dicho.

**Técnica de excavación:** A mano.

**Interpretación:** Posible pie derecho (¿?).

**Autor:** Pignatelli.

**Imagen:** Fig.76.

**COTAS**

1: Sup. 211,53 Inf. 211,01



**POTENCIA DE LA UE  
(DIF. DE COTAS)  
(m)**

1: 0,52

Figura 77.- UE 307

## **UE 307**

**Sector:** Quintaret.

**Fecha:** 28/01/2012.

**Tipo:** Relleno.

**Datación provisional:** Contemporánea; basada en estratigrafía.

**Descripción:** Relleno de tierra limosa de color blanquecino con escasas gravas pequeñas.

**Cubierto a:** UE 349.

**Rellena a:** 306.

**Relleno de:** UE 307.

**Muestras recogidas:** Dos bolsas.

**Técnica de excavación:** A mano.

**Interpretación:** -

**Materiales:** Ninguno.

**Autor:** Pignatelli.

**Imagen:** Fig. 77.

### COTAS

1: 210,91  
2: Inf. 210,89  
3: 210,95  
4: Sup: 210,81 Inf. 210,27  
5: 210,93  
6: Sup: 210,87 Inf. 210,61  
7: Sup: 210,74 Inf. 210,19  
8: Sup: 210,60 Inf. 210,23  
9: Sup: 210,59 Inf. 210,32  
10: Sup: 210,93 Inf. 210,77



### POTENCIA DE LA UE (DIF. DE COTAS) (m)

1-2: 0,02  
4: 0,54  
6: 0,26  
7: 0,55  
8: 0,37  
9: 0,27  
10: 0,16

Figura 78.- UE 308

## **UE 308**

**Sector:** Quintaret.

**Fecha:** 28/01/2012.

**Tipo:** Relleno.

**Composición:** Frecuencia escasa de cenizas y carbones.

**Descripción:** Relleno de tierra «tapenca» igual a UE 305 pero con una tonalidad más anaranjada, compacta y con alto porcentaje de gravas y algunos mampuestos.

**Cubierto por:** UE 305.

**Cubre a:** UE 310, 311.

**Relleno de:** UE 191.

**Comentarios:** tiene la misma función que UE 305.

**Técnica de excavación:** A mano.

**Interpretación:** relleno.

**Material:** Pequeño conjunto de cerámica bizcochada de formas abiertas: botes; cántaros...

**Autor:** Pignatelli.

**Imagen:** Fig. 78.

**COTAS**

- 1: 211,80
- 2: 211,62
- 3: Inf. 211,37
- 4: 211,58
- 5: 211,58
- 6: 211,52
- 7: Inf. 211,38
- 8: 211,64
- 9: Inf. 211,46
- 10: 211,71



**POTENCIA DE LA UE**  
(DIF. DE COTAS)  
(m)

- 3-4: 0,21
- 7-8: 0,26
- 9-10: 0,25

Figura 79.- UE 309

## **UE 309**

**Sector:** Quintaret.

**Fecha:** 28/1/2012.

**Tipo:** Muro.

**Descripción morfológica:** Muro de obra seca realizado con mampostería irregular dispuesto por hiladas dobles. Sólo se conservan dos hiladas.

**Forma de los mampuestos:** alargadas.

**Técnica:** Obra seca de mampostería.

**Materiales:** Mampuestos irregulares.

**Cubierto por:** UE 302.

**Rellena a:** UE 191.

**Se adosa a:** UE 191.

**Cubre a:** UE 305.

**Comentarios:** Primer relleno del horno 191 propiamente dicho.

**Técnica de excavación:** A mano.

**Interpretación:** Muro/cimiento construido en época de la construcción del ferrocarril para reutilizar el horno como estructura de habitación.

**Cronología:** Contemporánea.

**Autor:** Pignatelli.

**Imagen:** Fig. 79.



**COTAS**

- |                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| 1: 211,01       | 12: 210,22      |
| 2: 210,89       | 13: 210,13      |
| 3: 210,74       | 14: Inf. 210,12 |
| 4: Inf. 210,34  | 15: 210,49      |
| 5: 210,62       | 16: Inf. 210,13 |
| 6: 211,19       | 17: 210,54      |
| 7: 210,86       | 18: 210,36      |
| 8: 210,61       | 19: Inf. 210,54 |
| 9: Inf. 210,12  | 20: 210,81      |
| 10: 210,55      | 21: 210,81      |
| 11: Inf. 210,12 |                 |

**POTENCIA DE LA UE**  
(DIF. DE COTAS)  
(m)

- |             |
|-------------|
| 2-4: 0,55   |
| 8-9: 0,53   |
| 11-12: 0,10 |
| 16-17: 0,41 |
| 19-20: 0,27 |

Figura 80.- UE 310

## **UE 310**

**Sector:** Quintaret.

**Fecha:** 9/02/2012.

**Tipo:** Estructura.

**Descripción morfológica:** Cúmulo de mampuestos de roca calcárea, irregulares y tendentes a ser planos, quemados y rubefactados, dejados caer o derrumbados.

**Forma, trazado, planta:** Irregularmente distribuidos por todo el perímetro interior de la UE 191.

**Cubierto por:** UE 308.

**Cubre a:** UE 311.

**Se adosa a:** UE 191.

**Técnica de formación:** Destrucción.

**Componentes individuales:** Mampostería irregular plana.

**Técnica de excavación:** A mano.

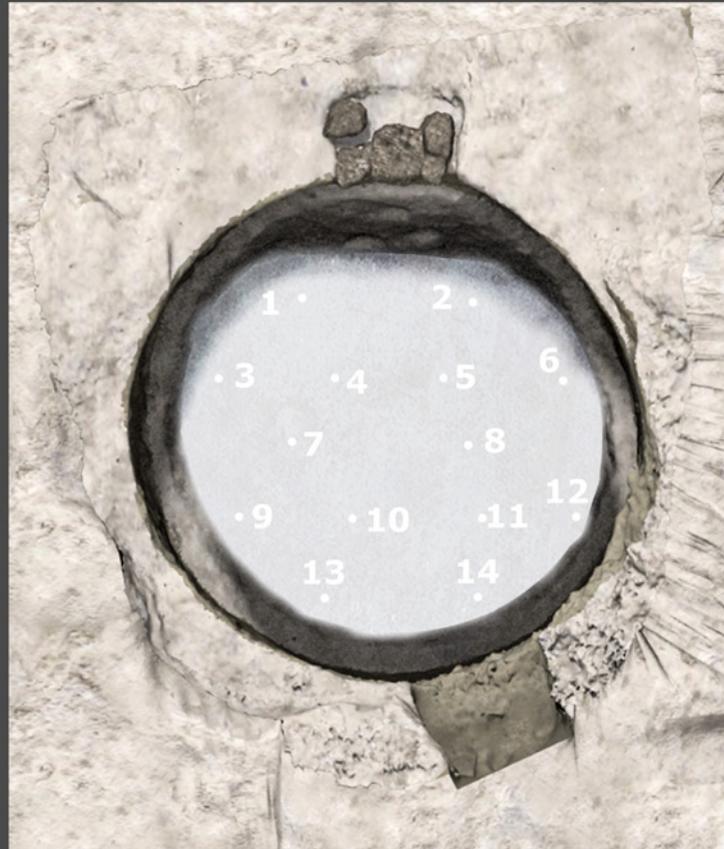
**Interpretación:** Derrumbe de parte del perímetro superior del horno tras su abandono.

**Autor:** Pignatelli.

**Imagen:** Fig. 80.

### COTAS

- 1: Sup. 210,47 Inf. 210,08
- 2: Sup. 210,54 Inf. 209,98
- 3: 210,14
- 4: 210,39
- 5: 210,34
- 6: 210,14
- 7: Inf. 209,94
- 8: Inf. 209,89
- 9: 210,13
- 10: 210,13
- 11: 210,13
- 12: 210,08
- 13: Sup. 210,12 inf. 209,84
- 14: Sup. 210,12, Inf. 210,91



### POTENCIA DE LA UE (DIF. DE COTAS) (m)

- 1: 0,39
- 2: 0,56
- 13: 0,28
- 14: 0,23

Figura 81.- UE 311

## **UE 311**

**Sector:** Quintaret.

**Fecha:** 13/02/2012.

**Tipo:** Relleno.

**Composición:** Presencia frecuente de cal y escasa de cenizas, carbones y materia orgánica.

**Descripción:** Relleno de tierra calcina («tapenca») compacta, de color marrón claro, con alto porcentaje de fragmentos de cal natural y fragmentos de carbones y cenizas. Hay también presencia de raíces de plantas actuales.

**Cubierto por:** UE 310, 311.

**Cubre a:** UE 312.

**Rellena a:** UE 191.

**Muestras recogidas:** 4 bolsas.

**Técnica de excavación:** A mano.

**Interpretación:** Relleno de abandono del horno después de la última cocción.

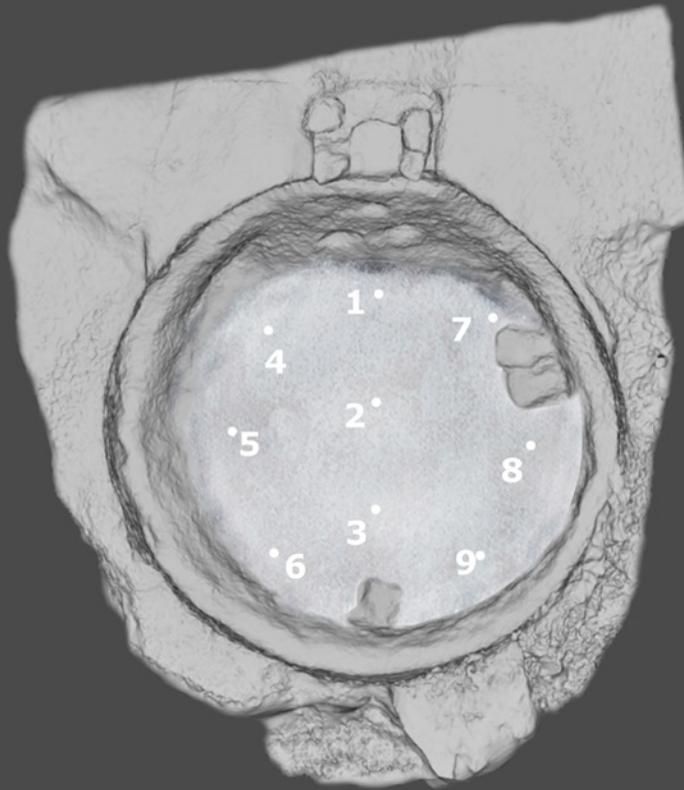
**Material:** No hay material.

**Autor:** Pignatelli.

**Imagen:** Fig. 81.

**COTAS**

- 1: 210,08
- 2: 209,99
- 3: 209,94
- 4: Sup. 209,96 Inf. 209,89
- 5: Sup. 209,94 Inf. 209,89
- 6: Sup. 209,94 Inf. 209,84
- 7: Sup. 209,89 Inf. 209,81
- 8: Sup. 209,89 Inf. 209,85
- 9: Sup. 209,91 Inf. 209,75



**POTENCIA DE LA UE  
(DIF. DE COTAS)  
(m)**

- 4: 0,07
- 5: 0,05
- 6: 0,10
- 7: 0,08
- 8: 0,04
- 9: 0,16

Figura 82.- UE 312

## **UE 312**

**Sector:** Quintaret.

**Fecha:** 13/02/2012.

**Tipo:** Relleno.

**Composición:** presencia frecuente de cenizas y carbones.

**Descripción:** Relleno compuesto por cenizas y carbones procedentes del combustible utilizado en la cocción.

**Cubierto por:** UE 311.

**Cubre a:** UE 349.

**Rellena a:** UE 191.

**Muestras recogidas:** 4 bolsas.

**Técnica de excavación:** A mano.

**Interpretación:** Nivel de ocupación. Restos del combustible de la última carga del horno.

**Material:** No hay material.

**Autor:** Pignatelli.

**Imagen:** Fig.82.

**COTAS**

- 1: 212,32
- 2: 211,53
- 3: 211,52
- 4: 212,37



**POTENCIA DE LA UE  
(DIF. DE COTAS)  
(m)**

- 1-2: 0,79
- 4-3: 0,85

Figura 83.- UE 777

## **UE 349 (roca madre)**

**Tipo:** Nivel geológico.

**Descripción:** Marga blanquecina de formación miocena o roca «tapenca».

## **UE 777**

**Sector:** Quintaret.

**Fecha:** 1/02/2012.

**Tipo:** Fosa.

**Descripción morfológica:** Fosa excavada en la roca «tap» (UE 349) de planta rectangular y sección ligeramente acampanada, con base plana.

**Técnica:** Excavación.

**Rellena por:** UE 303, 304.

**Corta a:** UE 191, UE 349, Suelo 1.

**Altura:** 85 cm.

**Comentarios:** Primer relleno del horno 191 propiamente dicho.

**Técnica de excavación:** A mano.

**Interpretación:** -

**Cronología:** Contemporánea.

**Autor:** Pignatelli.

**Imagen:** Fig. 83.



# Anexo IV

## Recursos externos



El autor ha considerado conveniente incluir en este libro el material de trabajo original para que pueda ser consultado por el usuario de este libro. Todos los archivos facilitados han sido alojados en la nube para su descarga por carpetas independientes (a la izquierda en Google Drive y a la derecha en Dropbox). La estructura de las carpetas, su contenido y enlaces son los siguientes:

### Modelo 3D Fotogramétrico (475 MB)

Modelo fotogramétrico en PDF3D, Blender, Photoscan, .obj y dos carpetas con las imágenes del levantamiento fotogramétrico y renderizados.

### Modelo 3D láser (14,5 MB)

Archivo en formato PDF3D del modelo láser del horno de Montesa.

### Estratigrafía (175 MB)

Archivos de la estratigrafía en Blender, Matrix Harris y tres carpetas con la planimetría y sección en formato .dwg, renderizados y texturas.

### Reconstrucciones virtuales (1,90 B)

Cinco carpetas con los renderizados y reconstrucciones virtuales en Blender de las fases del horno.

### Visita virtual al horno de Montesa (171 MB)

Aplicación Unity de la visita virtual al horno de Montesa (excavación y fase de uso).



# Bibliografía



- ALMAGRO GORBEA, A. (1973): Documentación Fotogramétrica en ruinas y monumentos. *Bellas Artes* 73, 127, Madrid, pp. 45-46.
- ALMAGRO GORBEA, A. (1976): Aplicaciones de la Fotogrametría como auxiliar en Arqueología y Restauración de Monumentos. *Ciclo de Conferencias sobre Fotogrametría, Técnicas Instrumentales*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, pp. 21-42.
- ALMAGRO GORBEA, A. (1979): Estudio fotogramétrico del Teatro Romano de Sagunto. *Saguntum*, 14, Valencia, pp. 165-179.
- ALMAGRO GORBEA, A. (1980): The Photogrammetric Survey of the Citadel of Amman and Other Archaeological Sites in Jordan. *Annual of the Department of Antiquities of Jordan (ADAJ)*, XXIV, Amman, pp. 111-119.
- ALMAGRO GORBEA, A. (1988a): La representación de la arquitectura a través de la fotogrametría: posibilidades y limitaciones. En *Fotogrametría y representación de la Arquitectura. X Symposium Internacional del Comité Internacional de Fotogrametría Arquitectónica CIPA. (Granada, 27-29 octubre, 1987)*, Granada, pp. 81-90.
- ALMAGRO GORBEA, A. (1988b): Relevé photogrammétrique du Palais Omeyyade de la Citadelle d'Amman par la Mission Archéologique Espagnole. En *Relevés Photogrammétriques d'Architecture Islamique. Actas del Symposium Internacional sobre fotogrametría aplicada a la arquitectura islámica. (Túnez, 1984)*, Túnez, pp. 177-198.
- ALMAGRO GORBEA, A. (1988c): Le relevé photogrammétrique de la Giralda á Seville. En *Relevés Photogrammétriques d'Architecture Islamique. Actas del Symposium Internacional sobre fotogrametría aplicada a la arquitectura islámica. (Túnez, 1984)*, Túnez, pp. 41-54.
- APARICIO, P., CARMONA, J.D., FERNÁNDEZ, M., MARTÍN, P.M. (2014): «Fotogrametría involuntaria»: rescatando información geométrica en 3D de fotografías de archivo. *Virtual Archaeology Review*, vol. 5, 10, Sevilla, pp. 11-20.

- ASTORGUI, Á. (1999): Studying the Archaeological Record from Photogrammetry. En BARCELÓ, BRIZ, VILA (eds.). *New Techniques for Old Times. CAA98. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Proceedings of the 26th Conference, Barcelona, March 1998*. BAR International Series, 757, Oxford, pp. 77-80.
- AZKARATE, A, CÁMARA, L., LASAGABASTER, J. I., LATORRE, P. (2001): Plan director de restauración. Catedral de Santa María. Vitoria-Gasteiz. [En línea] Fundación Catedral Santa María. <[http://www.catedralvitoria.com/restauracion\\_indice.php?niv=2\\_1](http://www.catedralvitoria.com/restauracion_indice.php?niv=2_1)> [Consulta: 24 junio 2015].
- BAILA, J. A., GÓMEZ, D. (2012): *Los hornos de cal en Vinaròs*. Associació Cultural «Amics de Vinaròs», Vinaròs, 56 pp.
- BARBERO, M. M., DE CÁRDENAS, J., MALDONADO, L. (2011): Los hornos de cal periódicos en la Comunidad de Madrid: estudio tipológico y nuevas ubicaciones. En HUERTA, GIL, GARCÍA, TAÍN (coords.). *Actas del Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción. (Santiago de Compostela, 26 - 29 octubre, 2011)*, Madrid, pp. 103-112.
- BARCELÓ, J. A., DE CASTRO, O., TRAVET, D., VICENTE, O. (2003): A 3D Model of an Archaeological Excavation. En DOERR, SARRIS (eds.). *The Digital Heritage of Archaeology. Computer Applications and Quantitative methods in Archaeology*. [En línea] Universitat Autònoma de Barcelona. <<http://prehistoria.uab.es/barcelo/publication/3Dmodel.pdf>> [Consulta: 24 junio 2015].
- BARCELÓ, J. A., VICENTE, O. (2004): Some problems in archaeological excavation 3D Modelling. En MAGISTRAT DER STADT WIEN-REFERAT KULTURELLES ERBE-STADTARCHÄOLOGIE-WIEN (ed.). *Enter the Past. The e-way into the four Dimensions of Cultural Heritage*. [En línea] Universitat Autònoma de Barcelona. <<http://prehistoria.uab.cat/barcelo/publication/Problems3D.pdf>> [Consulta: 24 junio 2015].
- BUILL, F., NÚÑEZ, M. A., RODRÍGUEZ, J. J. (2007): *Fotogrametría arquitectónica*. Ediciones UPC, Barcelona, 206 pp.
- CABALLERO, L., ARCE, F., FEIJOO, S. (1996): Fotogrametría y el análisis arqueológico. *Revista de Arqueología*, 186, Madrid, pp. 14-25. [En línea] <<http://www.geocities.ws/veguiiii/AC/Fotogrametriayanalisisarqueologico.doc>> [Consulta: 24 junio 2015].
- CABALLERO, L. (2006): El dibujo arqueológico: Notas sobre el registro gráfico en arqueología. *Papeles del Partal: revista de restauración monumental*, 3, Barcelona pp. 75-95.

- CALLIERI, M., DELL'UNTO, N., DELLEPIANE, M., SCOPIGNO, R., SODERBERG, B., LARSSON, L. (2011): Documentation and Interpretation of an Archaeological Excavation: an Experience with Dense Stereo Reconstruction Tools. En DELLEPIANE, NICCOLUCCI, PENA SERNA, RUSHMEIER, VAN GOOL (eds.). *VAST: The 11th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, Aire-la-Ville, pp. 33-40.
- CARANDINI, A. (2010): *Storie della terra. Manuale di scavo archeologico*. Giulio Einaudi Editore, Torino, 308 pp.
- CATÓN EL CENSOR (2012): *Tratado de agricultura. Fragmentos*. Editorial Gredos, Madrid, 464 pp.
- CAVANILLES, A. J. (1958): *Observaciones sobre la Historia Natural, Geografía, Agricultura, población y frutos del Reyno de Valencia*, vol. 1. Editorial CSIC. Departamento de Geografía Aplicada del Instituto «Elcano», Zaragoza, 236 pp.
- COTINO, F., CLAUSI, M. (2012): *Informe preliminar de intervención arqueológica. Quintaret, Montesa. Nuevo Acceso Ferroviario de Alta Velocidad de Levante-Madrid-Castilla la Mancha-Región de Murcia. Tramo Moixent-L'Alcudia de Crespins*.
- DARDER, B. (1929): La estructura geológica de los valles de Montesa y Enguera (prov. de Valencia). *Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, tomo XV, fasc. 2, Madrid, pp. 603-610.
- DE FELICE, G. (2008): Il progetto Itinera. Ricerca e comunicazione attraverso nuovi metodi di documentazione archeologica. En DE FELICE, SIBILANO, VOLPE (eds.). *Atti del Workshop Digitalizzare la pesantezza. L'Informatica e il metodo della stratigrafia. (Foggia 6-7 giugno 2008)*, Bari, pp. 13-23.
- DE FELICE, G. (2012): *Una macchina del tempo per l'archeologia. Metodologie et tecnologie per la ricerca e la fruizione virtuale del sito di Faragola*. Edipuglia, Bari, 121 pp.
- DELLEPIANE, M., DELL'UNTO, N., CALLIERI, M., LINDGREN, S., SCOPIGNO, R. (2012): Archeological excavation monitoring using dense stereo matching techniques. *Journal of Cultural Heritage*, París, pp. 201-210.
- DENARD, H. (2009): The London Charter for the Computer-Based Visualization of Cultural Heritage. [En línea] <<http://www.londoncharter.org/>> [Consulta: 24 junio 2015].
- DONEUS, M. (1996): Photogrammetrical applications to aerial archaeology at the

Institute for Prehistory of the University of Vienna. *Austria International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. XXXI, part B5, Vienna, pp. 124-129.

FARJAS, M., MORENO, E., GARCÍA LÁZARO, F. J. (2011): La realidad virtual y el análisis científico: De la nube de puntos al documento analítico. *Virtual Archaeology Review*, vol.2, 4, Sevilla, pp. 139-144.

FERDANI, D. (2012): Dense stereo matching based systems in archaeology: applications, benefits and limitations. *Proceedings of MIMOS. (Rome 9-11 Oct 2012)*, Torino, pp. 217-224.

FIORINI, A. (2008): Esperienze di fotomodellazione e stereofotogrammetria archeologica. En DE FELICE, SIBILANO, VOLPE (eds.). *Atti del Workshop Digitalizzare la pesantezza. L'Informatica e il metodo della stratigrafia. (Foggia 6-7 giugno 2008)*, Bari, pp. 175-186.

FORTE, M., DELL'UNTO, N., ISSAVI, J., ONSUREZ, A., LECARI, N. (2012): 3D Archaeology ar Çatalhöyük. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, vol. 1, 3, Brentwood, pp. 352-378.

FUMANAL, M. P., FERNÁNDEZ, J., AURA, J. E. (1993): Medio físico y corredores naturales: notas sobre el poblamiento paleolítico del País Valenciano. *Recerques del Museo d'Alcoi*, 2, Alcoi, pp. 89-108.

GRANDE, A., LÓPEZ-MENCHERO, V. M. (2012): The implementation of an International Charter in the field of Virtual Archaeology. En GRANDE, LÓPEZ-MENCHERO (eds.). *Actas del III Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación, Arqueológica 2.0. (Sevilla, 22-24 Junio 2011)*, Sevilla, pp. 29-32.

GRUSSENMEYER, P., PERDRIZET, F., (1996): Archaeological photogrammetry with small format cameras: the survey of the Forum Vetus in Sarmizegetusa (Romania). *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. XXXI, part B5, Vienna, pp. 200-204.

INTERNATIONAL FORUM OF VIRTUAL ARCHAEOLOGY (2012): The Seville Principles. International Principles of Virtual Archaeology. [En línea] <<http://www.arqueologiavirtual.com/carta/wp-content/uploads/2012/03/BORRADOR-FINAL-FINAL-DRAFT.pdf>> [Consulta: 24 junio 2015].

KOROSO, I., MUÑOZ, O. M. (2010): 12 años de registro digital de datos arqueológicos en la Catedral de Santa María de Vitoria-Gasteiz (1977-2009). *Cuadernos de prehistoria*

*y arqueología de la Universidad de Granada*, 20, Granada, pp. 163-176.

- LAURENZA, S., PUTZOLU, C. (2008): Dalla terra al monitor: riflessioni e considerazioni sulla gestione digitale dello scavo archeologico. En DE FELICE, SIBILANO, VOLPE (eds.). *Atti del Workshop Digitalizzare la pesantezza. L'Informatica e il metodo della stratigrafia. (Foggia 6-7 giugno 2008)*, Bari, pp. 107-122.
- LEWIS, M., JACOBSON, J. (2002): Game engines in scientific research. *Communications of the ACM*, vol. 45, 1, New York, pp. 27-31.
- LIJÓ, M., MONGUE, J. (2000): Notas para el estudio de los hornos de cal de Santa Ana la Real. En HERNÁNDEZ (cood.). *Actas XIV Jornadas del Patrimonio de la Comarca de la Sierra. (Santa Ana la Real, Huelva, marzo 1999)*, Huelva, pp. 147-166.
- LÓPEZ LILLO, J. A., CHARQUERO A. M. (2012): Registro tridimensional acumulativo de la secuencia estratigráfica. Fotogrametría y SIG en la intervención arqueológica de lo Boligni (Alacant). *Virtual Archaeology Review*, vol. 3, 5, Sevilla, pp. 81-88.
- MADOZ, P. (1987): Diccionario geográfico-estadístico-histórico de Alicante, Castellón y Valencia. Editorial Alfons el Magnànim, València, 2 vols.
- MOROTE, G. (2002): *La Vía Augusta y otras calzadas en la Comunidad Valenciana*. Real Academia de Cultura Valenciana, Sección de Prehistoria y Arqueología, Serie Arqueológica, 19, Valencia, 2 vols.
- ORTIZ, P., BARBA, S., FIORILLO, F., PUGLIESE, F. (2012): Archeological plan restitution with cloud computing. En *Low cost 3D: sensori, algoritmi e applicazioni. (Trento, 8-9 March 2012)*.
- PÉREZ, J. L., MOZAS, A. T., BARBA, V., FERNÁNDEZ, A. (2009) Fotogrametría de bajo coste para estudios arqueológicos de la arquitectura: aplicación a la muralla este de la fortaleza de la mota. Alcalá la Real (Jaén). *Mapping*, 138, Madrid, pp. 6-13.
- PIETRONI, E. (2008): Ambienti collaborativi ed ecosistemi virtuali per la trasmissione e comunicaziozne del patrimonio culturale: il museo virtuale della via Flaminia antica. En DE FELICE, SIBILANO, VOLPE (eds.). *Atti del Workshop Digitalizzare la pesantezza. L'Informatica e il metodo della stratigrafia. (Foggia 6-7 giugno 2008)*, Bari, pp. 55-73.
- PIETRONI, E., PESCARIN, S., FORTE, M., DELL'UNTO, N.: (2005): The narrative approach of virtual heritage real-time applications. En FORTE (ed.). *The reconstruction of*

*archaeological landscapes through digital technologies*. BAR International Series, 1379, Oxford.

QUINTANA, I. (2005): Una de cal y otra de historia. Los hornos de cal de Ituro y Lama (Segovia). *De Re Metallica*, 5, Madrid, pp. 95-100.

REBIUN (2010): Ciencia 2.0: aplicación de la web social a la investigación. [En línea]. <[http://eprints.rclis.org/3867/1/Ciencia20\\_rebiun.pdf](http://eprints.rclis.org/3867/1/Ciencia20_rebiun.pdf)> [Consulta: 24 junio 2015].

REILLY, P. (1991): Towards a Virtual Archaeology. En LOCKYEA, RAHTZ (eds.). *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1990*. BAR International Series, 565, Oxford, pp.133-139.

ROSELL, J., SUBIRATS, M. (1987): *La producció de calç ahir: el procés pre-industrial de producció de calç a la comarca del Montsià*. COAATB, Col·legi Oficial d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona, Barcelona, 16 pp.

SANZ DEL OLMO, B.; PEROSILLO, G. (2005): Calero, un oficio perdido. *Técnica Industrial*, 258, Madrid, pp. 62-65.

SCOPIGNO, R. (2012): Sampled 3D models for Cultural Heritage: which uses beyond visualization? *Virtual Archaeology Review*, vol. 3, 5, Sevilla, pp. 109-115.

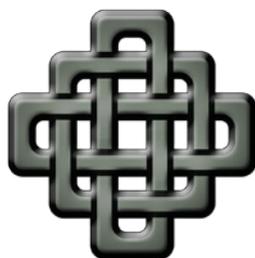
TEJADO, J. M. (2005): Escaneado en 3D y prototipado de piezas arqueológicas: las nuevas tecnologías en el registro, conservación y difusión del Patrimonio Arqueológico. *IBERIA: revista de la antigüedad*, 8, Logroño, pp. 135-158.

VITRUVIO, M. (1995): Los diez libros de Arquitectura. Alianza Editorial, Madrid, 398 pp.

ZAPATA-ROS, M. (2011): La investigación y la edición científica en la web social: la ciencia compartida. RED. Docencia universitaria en la Sociedad del Conocimiento, 3, Murcia, 19 pp.

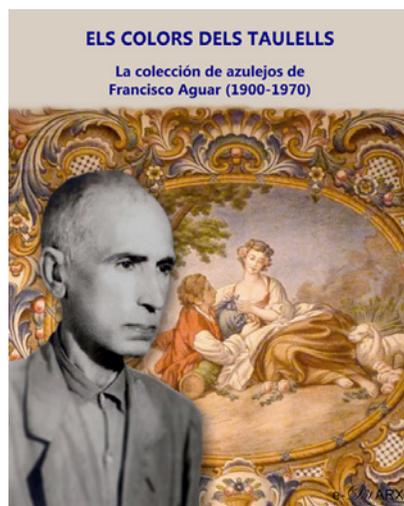


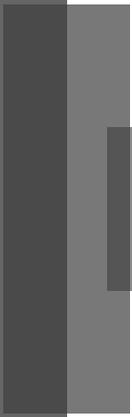
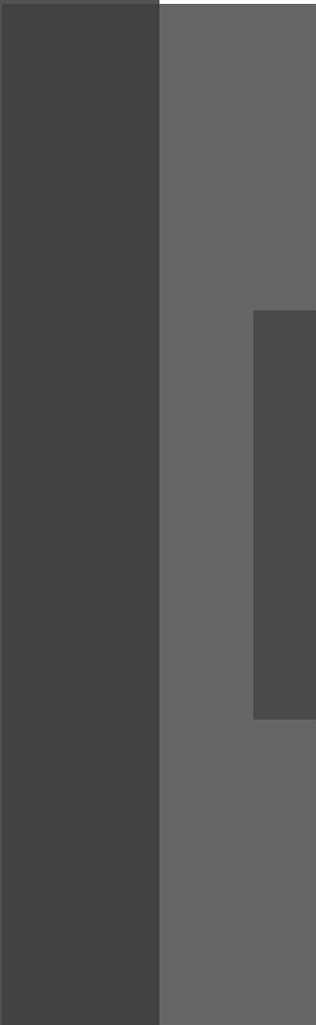
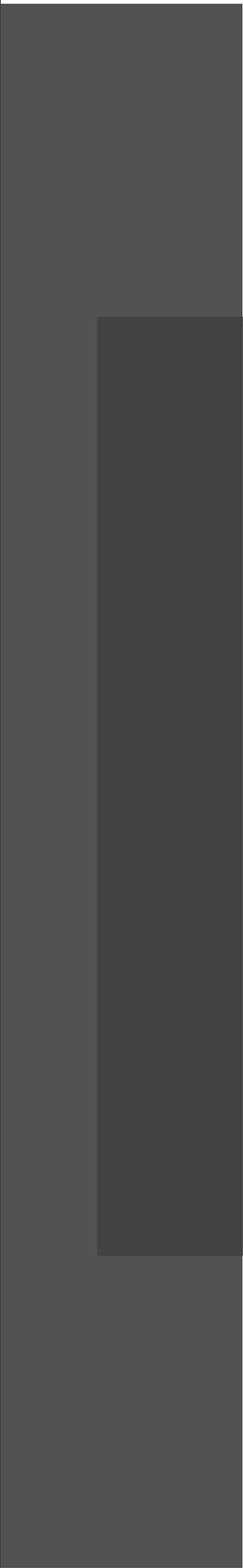




Este libro se editó en junio de 2015.  
Año Internacional de la Luz  
y las Tecnologías Basadas en la Luz.

### Otros libros de esta línea editorial:





e-*Dit* ARX  
PUBLICACIONES DIGITALES