



ENTORNO 3D PARA EL ANÁLISIS Y LA RECREACIÓN VIRTUAL DE LAS ACTUACIONES ARQUEOLÓGICAS EN CUEVA DE LA COCINA (DOS AGUAS, VALENCIA, ESPAÑA)

3D ENVIRONMENT FOR THE ANALYSIS AND VIRTUAL RECONSTRUCTION OF THE ARCHAEOLOGICAL FIELDWORKS AT COCINA CAVE (DOS AGUAS, VALENCIA, SPAIN)

Agustín Díez Castillo^{a,*}, Alfredo Cortell Nicolau^b, Oreto García Puchol^b, Pilar Escribá Ruiz^b

^a Grup de recerca d'Arqueologia del Mediterrani (GRAM), Departament de Prehistòria i Arqueologia, Universitat de València, 46010 Valencia, Spain. agustin.diez@uv.es

^b Grup de recerca PREMEDOC. alfredo.cortell-nicolau@uv.es; oreto.garcia@uv.es; m.pilar.escriba@uv.es

Abstract:

In this paper we present our procedure for digitising fieldwork information on the fly (data management), and its combination with the virtual reconstruction of the stratigraphy (virtualisation), of the *Cueva de la Cocina* site in Dos Aguas (Valencia, Spain). The main tool for the Geographic Information System (GIS) implementation has been OpenJUMP, whilst for the three-dimensional (3D) recreation of the cave virtual environment MeshLab, ParaView, CloudCompare and R open software have been used. According to the data recovered during the two last field seasons at the cave -2015 and 2016-, we present the current state of the stratigraphy virtualisation in the excavated sectors. We also provide not only a general view of the cave, but also different points of view to incorporate distinct geomatics tools into archaeological research. The computer treatment of the data collected in the field provides a better understanding of their spatial relations; which in turn facilitates its analysis and interpretation as well as the realisation of virtual profiles. In the same way, the differences in the frequency of materials belonging to adjacent and/or superimposed stratigraphical units, as well as the total quantities, volumetry and density of the artefacts, with respect to their own stratigraphical unit, or even the whole excavated area, can also be analysed. The combination of both approaches -data management and virtualisation- allows us to integrate geographic information technologies in the daily life of the Mesolithic and Neolithic communities, of which the virtual reconstruction of the different test pits carried out in *Cueva de la Cocina* constitutes a perfect example.

Key words: 3D reconstruction, GIS tools, archaeological fieldwork, Mesolithic, Neolithic, Cocina Cave

Resumen:

Con este trabajo pretendemos presentar nuestro procedimiento de digitalización de información de campo (gestión de datos) y su imbricación en la reconstrucción estratigráfica virtual (virtualización) de la Cueva de la Cocina (Dos Aguas, Valencia, España). La herramienta principal para la implementación del Sistema de Información Geográfica (SIG) ha sido OpenJUMP, mientras que para la recreación tridimensional (3D) del entorno virtual de la cueva se han utilizado MeshLab, ParaView, CloudCompare y R. De acuerdo con los datos recuperados durante las excavaciones de los últimos años en la cueva -2015 y 2016-, se presenta el estado actual de la virtualización de la estratigrafía en los sectores excavados. Del mismo modo ofrecemos no sólo una visión general de la cueva, sino también diferentes puntos de vista para incorporar distintas herramientas geomáticas en la investigación arqueológica. El tratamiento informático de los datos recogidos en el campo proporciona una mejor comprensión de las relaciones espaciales entre ellos; lo que a su vez facilita su análisis e interpretación así como la realización de cortes virtuales. De la misma manera, se pueden analizar las diferencias en la frecuencia de los materiales que pertenecen a unidades estratigráficas adyacentes o superpuestas, así como las cantidades totales, la volumetría y la densidad de los artefactos, con respecto a su propia unidad estratigráfica u otras. La combinación de ambos enfoques -gestión de datos y virtualización- nos permite integrar las tecnologías de la información geográfica en la vida cotidiana de las comunidades mesolíticas y neolíticas, de las cuales la reconstrucción virtual de los diferentes sondeos realizados en Cueva de la Cocina constituye un ejemplo perfecto.

Palabras clave: Entorno 3D, herramientas GIS, excavación arqueológica, Mesolítico, Neolítico, Cueva de la Cocina

1. Introducción

Presentamos en este trabajo una propuesta metodológica que integra la información espacial de una excavación arqueológica en un entorno de trabajo digital con el objetivo de proceder a la reconstrucción

estratigráfica de la intervención de campo y su recreación 3D. Para ello se utiliza de forma prominente el SIG libre OpenJUMP v. 1.9.0 rev.4795 PLUS ([The JUMP Pilot Project, 2015](#)), pero también Qgis v. 2.14.0 ([Qgis Development Team, 2015](#)) y gvSIG Desktop v. 2.2 ([gvSIG, 2015](#)). Aquel nos permite reconstruir la

* Corresponding author: Agustín Díez Castillo, agustin.diez@uv.es



estratigrafía a partir de la toma de datos realizada mediante estación total con más facilidad. Para el mallado 3D se ha utilizado el software libre MeshLab v. 1.3.2 y los paquetes rgl (Adler *et al.*, 2016), alphashape (Lafarge & Pateiro-López, 2016) y VecStatGraphs3D (Felicísimo, Ruiz Cuetos, Polo García, Cuartero, & García Rodríguez, 2016) para R v. 3.2.3 (R Core Team, 2015) y para su visualización ParaView v. 5.0.1-RC1 (Ayachit, 2015), con el fin de proceder a recrear la excavación en un entorno 3D. Uno de los yacimientos que han servido de base de pruebas para la implementación de estas tecnologías es Cueva de la Cocina (Dos Aguas, España). Se trata de un yacimiento arqueológico reconocido en la bibliografía nacional e internacional desde que se realizaran las primeras intervenciones en el año 1941 (García Puchol, Juan Cabanilles, McClure, Diez Castillo, & Pardo Gordó, 2015; García Puchol *et al.*, 2014; Fortea, 1973; Pericot, 1945) dada su amplia secuencia referida principalmente a la prehistoria reciente desde unos niveles basales y medios que corresponden al Mesolítico Geométrico (los últimos caza-recolectores en el marco del Mediterráneo peninsular) y una secuencia neolítica conservada de forma desigual (desde el Neolítico antiguo a la Edad del Bronce). La metodología empleada y la reconstrucción estratigráfica que presentamos se ha implementado durante la primera campaña de actuación arqueológica realizada en el marco del proyecto HAR2012-33111 “MesoCocina: Los últimos caza-recolectores y el paradigma de la neolitización en el Mediterráneo peninsular” y financiada por la Diputación de Valencia en el programa de excavaciones 2015 del Museu de Prehistòria de València.

La intervención arqueológica del año 2015 consistió en la realización de una serie de sondeos inmediatos a las excavaciones realizadas por Pericot en los años 40 del pasado siglo (entre 1941 y 1945) y de Fortea en los años setenta (1974-1981). Previamente, en el año 2014, se llevó a cabo el escaneado 3D de la cavidad a partir de la cual se obtuvieron la planta y las secciones de la cueva, así como el modelo 3D de la cavidad con la finalidad de proceder a la correcta ubicación de los datos espaciales generados durante las intervenciones recientes con aquellos disponibles sobre las anteriores actuaciones arqueológicas dirigidas por Pericot y Fortea.

En el transcurso de la campaña de 2015 (Fig.1) fueron practicadas un total de 6 catas de desigual dimensión y potencia, mientras que la campaña de 2016 se centró casi exclusivamente en una única zona. El objetivo prioritario de ambas era la obtención de información estratigráfica, además de proceder a la realización de un muestreo sistemático de materiales arqueológicos, biológicos y sedimentológicos con el fin de obtener información actual para el análisis detallado de la compleja secuencia de las ocupaciones en el lugar. La toma de datos de la excavación ha seguido un protocolo preciso que ha consistido en la digitalización de los datos tridimensionales tanto referidos a las unidades estratigráficas (JUUE) como a los hallazgos. Este protocolo ofrece varias ventajas para la gestión de una excavación arqueológica como la versatilidad y agilidad en la toma de datos y, sobre todo, por lo que se refiere a su precisión, toda vez que abre un amplio abanico de nuevas posibilidades para su presentación en diferentes formatos que permiten el análisis eficiente de los datos y su visualización 3D.



Figura 1: Excavación en la Cueva de la Cocina.

2. Metodología

La Cueva de la Cocina es probablemente uno de los primeros yacimientos arqueológicos peninsulares en los que la revolución planteada desde la corriente teórica conocida como *New Archaeology* se plasmó en una rigurosidad metodológica que llevó a documentar tridimensionalmente todos los hallazgos de la mano del profesor Javier Fortea (excavaciones entre 1974 y 1981) siguiendo los métodos desarrollados en Francia (Laplace & Méroc, 1954). Gracias a ello, se conserva en el Servei d'Investigacions Prehistòriques (SIP) de València el registro manual del inventario de los hallazgos por cuadros y capas que incorpora las coordenadas XYZ de los mismos (referidas la X y la Y al 'lado derecho' y el 'fondo' de cada uno de los cuadros, mientras que la profundidad se tomaba con un nivel de agua o referida a una estructura metálica fija), así como una descripción genérica de los materiales (fauna, sílex, cerámica, malacofauna, cantos, plaquetas, ornamento, entre otros). Todo ello se acompaña de croquis de cada una de las plantas sobre papel milimetrado, que refieren la posición de los objetos, así como el dibujo de los cantos y bloques de piedra de medio y gran tamaño, además de fotografías verticales que permiten comprobar la posición de todos los elementos señalados.

Las excavaciones actuales han continuado con esta labor apoyadas ahora en avances tecnológicos que nos permiten sustituir el nivel de agua por la estación total en las labores diarias y el escáner Faro 3D para la reconstrucción física del contenedor, llevada a cabo por la empresa Global Mediterránea & Geomática. El escaneado 3D de la cavidad se llevó a cabo mediante una documentación geométrica de alta definición (HDS) que combina técnicas fotogramétricas con técnicas de escáner láser 3D, una metodología de medida no intrusiva que permite capturar información gráfica y geométrica tanto en 2D como en 3D. El protocolo de trabajo SIG aplicado, especificado en Diez Castillo, Cortell Nicolau y García Puchol (2016), ha permitido definir el yacimiento de estudio a través de planos, la generación de secciones y la modelización de las diferentes zonas de la cavidad.

El modelo digital de superficie (MDS) se ha realizado mediante la utilización de un láser escáner terrestre (*terrestrial laser scan* o TLS, por sus siglas en inglés), concretamente el modelo FARO FOCUS 3D. El escáner láser realiza el barrido de una superficie captando miles de puntos por segundo mediante un haz láser en

ENTORNO 3D PARA EL ANÁLISIS Y RECREACIÓN VIRTUAL DE LAS ACTUACIONES ARQUEOLÓGICAS 2015 EN CUEVA DE LA COCINA (DOS AGUAS, VALENCIA, ESPAÑA)

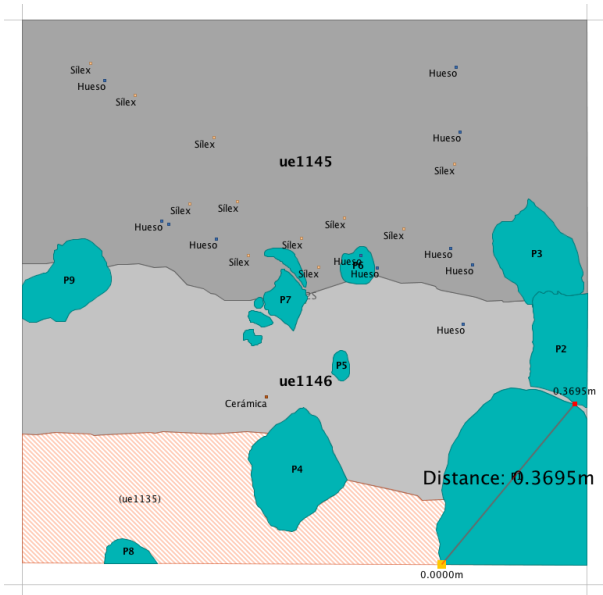


Figura 2: Reconstrucción de las UUEE 1145 y 1146 con OpenJUMP, incluyendo los puntos de hallazgos tomados en campo.

abanico. El instrumento registra toda la nube de puntos 3D compuesta por miles de medidas individuales en un sistema de coordenadas (XYZ) que en sí mismo puede utilizarse para generar un modelo 3D de los objetos registrados. Con una distancia media de escaneo de 10 m, como la aplicada en nuestro caso, el instrumento puede conseguir una resolución de 2 mm. La imagen resultante es una colección de millones de medidas 3D que produce una representación digital precisa del entorno. Una vez descargados y guardados los datos del escáner, se referencian las nubes de puntos en un sistema de coordenadas local, creado a partir de las cuadrículas dispuestas por Fortea. Todo ello se consigue a través de la identificación en la nube de puntos de las esferas. A continuación se realiza el registro de la nube de puntos, que coloca los escaneados automáticamente en nuestro sistema de coordenadas y calculará el ajuste con un error de correlación de las nubes de puntos de 1.85 mm entre los diferentes escaneados. Finalmente se genera un archivo de intercambio ASCII compatible con aplicaciones de entorno de modelización 3D.

Para el tratamiento de la información de las UUEE nos hemos apoyado en varios programas informáticos, todos ellos software de código abierto y libres. Los planos de cada una de las UUEE se han realizado con OpenJUMP (*The JUMP Pilot Project, 2015*) dado que el programa dibuja tridimensionalmente las geometrías a partir de las coordenadas de los puntos tomadas en el campo (Fig. 2). OpenJUMP fue uno de los primeros programas SIG en incorporar esa característica, la cual permite la interpolación de nodos 3D complementarios si fuera necesario. El dibujo se puede realizar de forma manual uniendo los puntos importados desde la base de datos en la que se vuelcan los datos tomados con la estación total o de manera semiautomática gracias a la librería Sextante (*Olaya, 2009*). Son varios los algoritmos de Sextante que permiten la reconstrucción de la superficie de la UE, como la triangulación Delaunay y el algoritmo de envolvente mínima pero todos ellos conservan la referencia altimétrica de los vértices originales dibujando polígonos 3D.

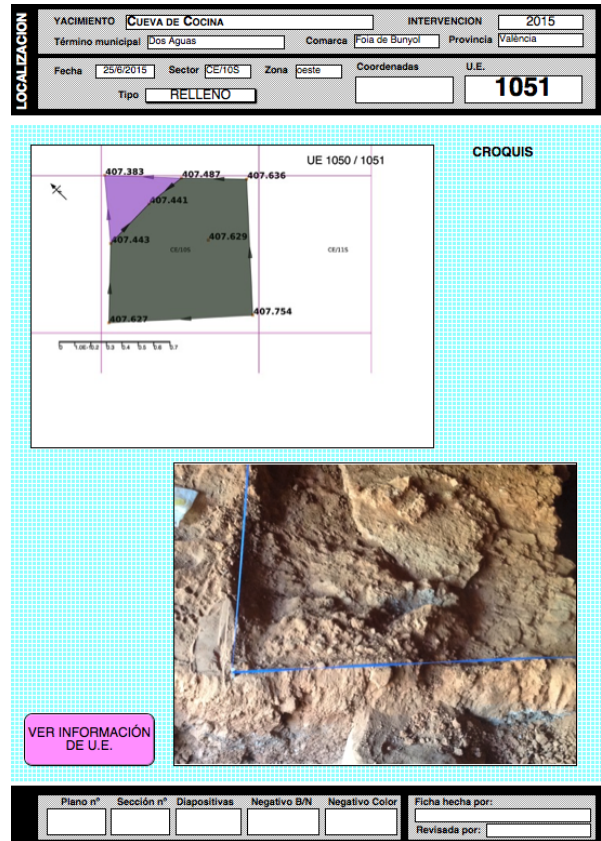


Figura 3: Modelo de ficha de UE.

El primer paso, en todo caso, ha sido la realización de una base de datos relacional, compuesta de tres tablas, en la que por un lado se recoge la descripción de la UE, por otro se almacena el material gráfico y, por último, se almacenan las coordenadas de cada uno de los puntos que se toman en la excavación con la estación total. Las relaciones establecidas hacen que la información geométrica de los puntos se incorpore a la tabla de UUEE, rellenando campos calculados como la cota mínima o máxima de forma automática, y desde esta se pueda consultar la información gráfica que, normalmente, contiene una fotografía de campo de la UE correspondiente y una planta de la misma en la que se incluyen los hallazgos (Fig. 3). En la actualidad el programa gestor de la base de datos, por razones de compatibilidad histórica con nuestro grupo de investigación, es Filemaker (FileMaker Pro® 12), aunque se está preparando una migración de los datos a PostgreSQL con la extensión espacial PostGIS. A partir de la consulta de la tabla de puntos se dibujan las plantas y se realiza su reconstrucción volumétrica.

El mallado de las UUEE se ha realizado con MeshLab, programa de manejo rápido y que tiene una amplia gama de algoritmos para reconstruir volúmenes que incluyen desde la envolvente mínima hasta la decimación de vértices (Fig. 4).

Los hallazgos que no se han documentado tridimensionalmente en la excavación (los que proceden de las labores de criba y lavado de sedimentos) se generan dentro del volumen de la UE correspondiente con una rutina en la que intervienen las librerías foreign (*R Core Team, 2016*), spatstat (*Baddeley & Turner, 2005*) y alphashape3d (*Lafarge & Pateiro-López, 2016*) del programa R (*R Core Team, 2015*). A partir de la

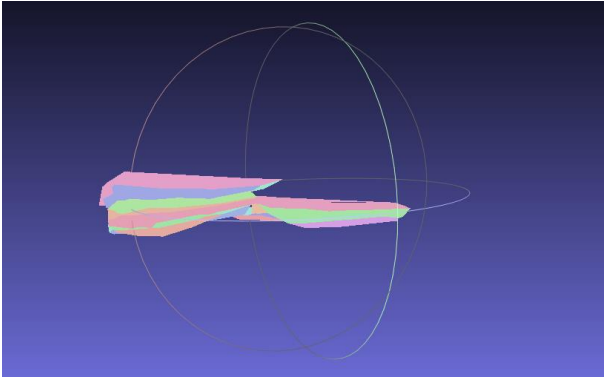
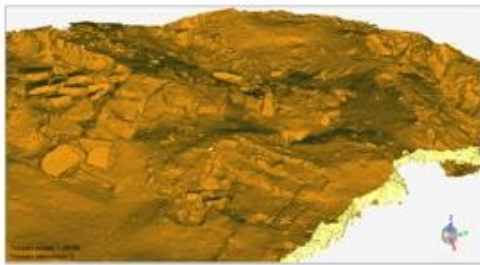


Figura 4: Virtualización estratigráfica 3D preliminar con MeshLab.

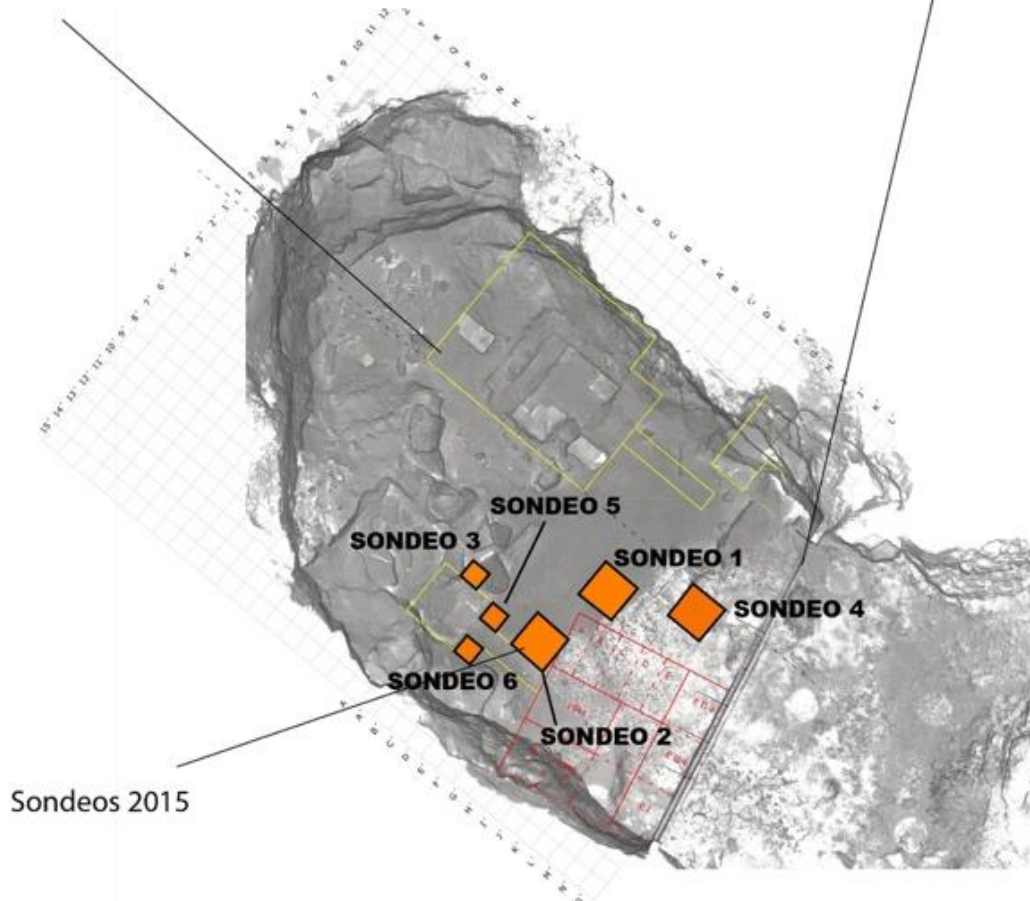
envolvente mínima 3D de los datos tomados en la cueva, se generan de forma aleatoria, tantos puntos como hallazgos, que luego se introducen de manera definitiva en la base de datos. Esta tarea es quizás la más novedosa metodológicamente hablando, porque en un paso previo se genera el volumen de cada una de las UUEE y posteriormente se generan los hallazgos que se han recuperado en cada una de ellas, siendo también posible introducir los volúmenes de las UUEE generados previamente. El proceso no es sencillo porque los volúmenes de las mismas pueden tener formas poliédricas complejas y, por ello, la generación de puntos en su interior no es un proceso simple, hay que comprobar que cada uno de los puntos generados se halla realmente dentro de la forma 3D de la UE y si es así validarlo hasta completar el número de hallazgos



Detalle interior, intervención Fortea



Entrada desde el exterior



Sondeos 2015

Figura 5: Resultados del escaneado láser 3D (FARO FOCUS 3D) para la Cueva de la Cocina.

necesario, gracias a la función *inashape3d* del paquete *alphashape3d* (Lafarge, Pateiro-López, Possolo, & Dunkers, 2014). Hasta este momento normalmente se generaban dentro del *bounding box 3D* (Mousavian, Anguelov, Flynn, & Cosecka, 2017) de cada UE, pero eso puede generar puntos fuera del volumen de la UE.

El aspecto metodológico se completa con la consolidación de los hallazgos en la base de datos y un protocolo que permite dibujar de forma semiautomática las plantas de cada una de las UUEE, varios scripts que permiten exportar los datos de la base de datos en formatos que son compatibles tanto con MeshLab, como con OpenJUMP o Qgis.

3. Resultados

La obtención del modelo de la cavidad ha propiciado un entorno de trabajo versátil que permite la digitalización de los datos métricos generados en el transcurso del trabajo de campo siguiendo el sistema de coordenadas que en su día planificó el profesor Javier Fortea (Fig. 5).

Los sondeos practicados por nosotros han seguido dicho sistema, de forma que será posible conectar la información métrica de los trabajos de campo efectuados en los años 1970, una vez incorporados a las bases de datos diseñadas para tal fin, con los generados en la actualidad. La implementación de este tipo de tecnologías en el campo arqueológico proporciona interesantes resultados que cabe condensar en un aspecto doble, en el sentido de que nos permite una ubicación correcta del yacimiento en cuanto a su situación en el espacio, pero también en referencia a las relaciones que las propias UUEE guardan entre sí.

En este sentido, una de las herramientas de provecho es la que nos permite la georreferenciación de distintos ítems que puedan ser de interés para la investigación. Mediante su uso, obtenemos tanto una corrección de la deformación de proyección inherente a la toma fotográfica como la geolocalización correcta del elemento en cuestión (Fig. 6).



Figura 6: Reconstrucción fotogramétrica de la UE 1083.

Por otro lado, el tratamiento informático de los datos recogidos en campo proporciona una mejor comprensión de las relaciones entre los mismos mediante su situación espacial; lo cual a su vez facilita su análisis e interpretación, así como la realización de cortes y capas virtuales, para cuya recreación se ha elegido, en este caso, el software Paraview, al considerar la buena relación velocidad-calidad en los aspectos de visualización, así como sus características específicamente diseñadas para el ámbito de la investigación (Fig. 7).

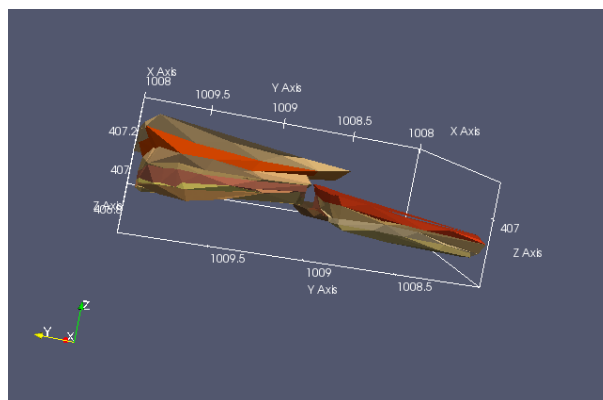


Figura 7: Acabado de las UUEE con Paraview.

En la intervención de 2015 en Cueva de la Cocina practicamos 6 sondeos en los que se definieron un total de 168 UUEE. Se digitalizaron los datos XYZ de 2192 puntos que definían cada una de las UUEE, así como la posición de los materiales que fueron recogidos *in-situ* durante la excavación. Los materiales recuperados en el proceso de flotación de los sedimentos han sido incorporados a cada una de las UUEE a través de su generación en el volumen de la UE correspondiente. La digitalización ha supuesto de este modo una mayor agilidad durante el proceso de toma de datos, así como de su proyección digital. De este modo, podemos observar las diferencias de frecuencia de aparición de los materiales en UUEE adyacentes o superpuestas (Fig. 8), así como apreciar cantidades totales, volumetría y densidad de los hallazgos localizados, con respecto a su propia UE, o incluso a la totalidad del área excavada. A partir de esta figura podemos visualizar resultados de interés referidos a la distribución del material arqueológico recuperado. La Figura 8 muestra cuatro gráficos 3D en los que queda representada la densidad de diferentes tipos de hallazgos en el sector cuatro de la intervención más reciente. Este sondeo se practicó en un área cercana a la actual entrada de la cavidad sobre una superficie de 4 m² correspondiente a los cuadros JE 1S, JE 2S, KE 1S, KE 2S.

Se excavó en capas sucesivas de 3 cm hasta alcanzar el nivel mesolítico intacto en uno de los cuadros. Los materiales representados se corresponden con los hallazgos de las UUEE de adscripción prehistórica, tanto la unidad CS-3 caracterizada por la presencia de cerámicas neolíticas, como la unidad CS-4 en la que destacan la presencia de microlitos geométricos y la ausencia de material cerámico. Nos interesaba especialmente esta comparación con el fin de explorar el patrón de distribución de los diferentes materiales entre ambas unidades. El gráfico nos muestra a este respecto resultados interesantes que marcan ciertas

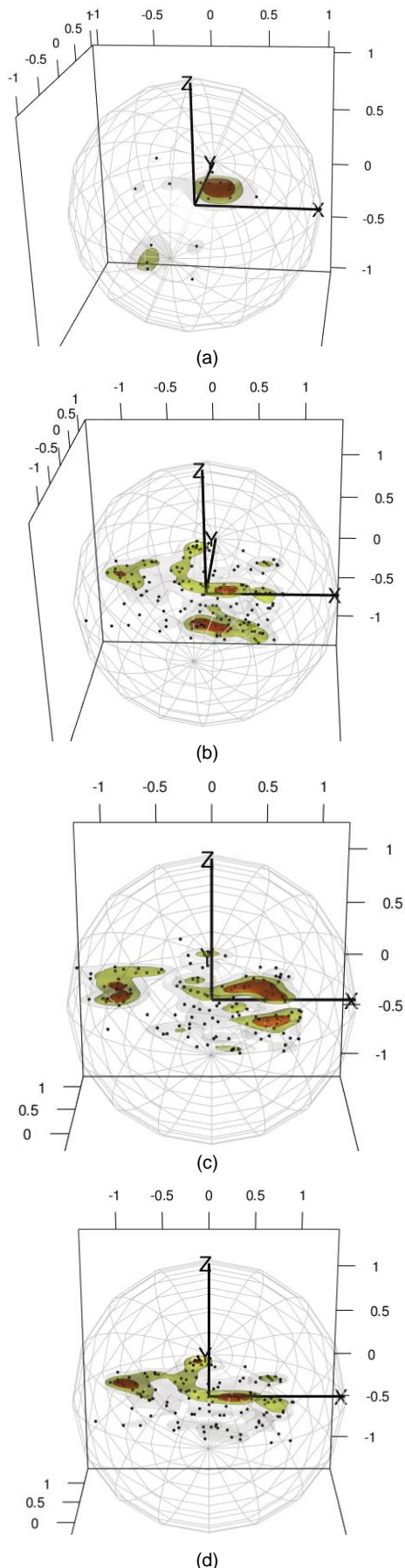


Figura 8: Representación de la densidad 3D de distintos tipos de materiales: a) cerámica, b) malacofauna, c) fauna y d) sílex en el sondeo 4. Realizados con el paquete VectStatGraph3D.

diferencias destacables. En este sentido, llama la atención ver cómo la distribución de cerámica (Fig. 8a) queda concentrada en un área determinada que no coincide con las áreas de distribución y concentración de fauna (Fig. 8b), malacofauna (Fig. 8c), o de los materiales líticos (Fig. 8d). Este aspecto apunta hacia la diferenciación en las formas de ocupación del espacio y también de acumulación diferencial de los vestigios arqueológicos entre las ocupaciones mesolíticas y neolíticas al menos en esta área de la cavidad.

Además de esa distribución divergente del conjunto de cerámicas y de restos líticos, el test de Rayleigh aplicado a cada uno de los conjuntos demuestra, sin embargo, que internamente su distribución es uniforme.

Precisamente, esa posibilidad de estudiar una determinada intervención de modo general, o bien de subdividirla en diferentes sondeos que pueden ser relacionados, todo ello en un mismo ámbito de trabajo, es una de las utilidades destacadas en el uso de este tipo de tecnologías. Dada la gran cantidad de información recuperada durante la excavación, cualquier elemento que agilice la gestión de datos supone un gran avance para una interpretación precisa de la información disponible.

En cualquier caso, como nos demuestra la ejemplar labor de campo del profesor Javier Fortea en la década de los setenta del siglo pasado registrando más de 8000 piezas arqueológicas *in situ*, el problema no es sólo registrar la información del material recogido durante la excavación, sino su posterior procesado y es aquí donde un protocolo de actuación como el seguido por nosotros demuestra su potencial (Fig. 9).

4. Perspectivas de futuro

Aparte de las grandes posibilidades metodológicas que ofrecen las herramientas SIG para la optimización de la labor de investigación arqueológica que ya son conocidas, su aplicación en otras facetas arqueológicas como la didáctica y la musealización contribuye no solo a una correcta conceptualización del objeto de estudio, sino también a una mayor y mejor difusión de esta disciplina. Uno de los elementos destacados en este sentido es la posibilidad de virtualización 3D, tanto de espacios generales, como de elementos particulares de especial interés. La combinación de ambos enfoques -la gestión de datos y su virtualización- nos permite expresar e integrar las tecnologías de información geográfica en una paradoja que las funde en el ejemplo presentado con la cotidianidad de las comunidades mesolíticas y neolíticas. La reconstrucción 3D del espacio de Cueva de la Cocina, con la implementación de los sondeos llevados a cabo en la excavación de 2015 constituye un buen ejemplo que sumar a los realizados en los últimos años (Feito Higuera & Segura Sánchez, 2010; Forte, 2011; Forte, 2014; Tejerina Antón, Bolufer i Marqués, Esquembre Bebia, & Ortega Pérez, 2012; Torres, Cano, Melero, España, & Moreno, 2010). La documentación 3D de yacimientos arqueológicos resulta cada vez más común gracias a las aportaciones tecnológicas de los escáneres 3D que facilitan la documentación 3D de los conjuntos arqueológicos gracias tanto a su "fácil manejo" como a costos cada vez más asequibles.

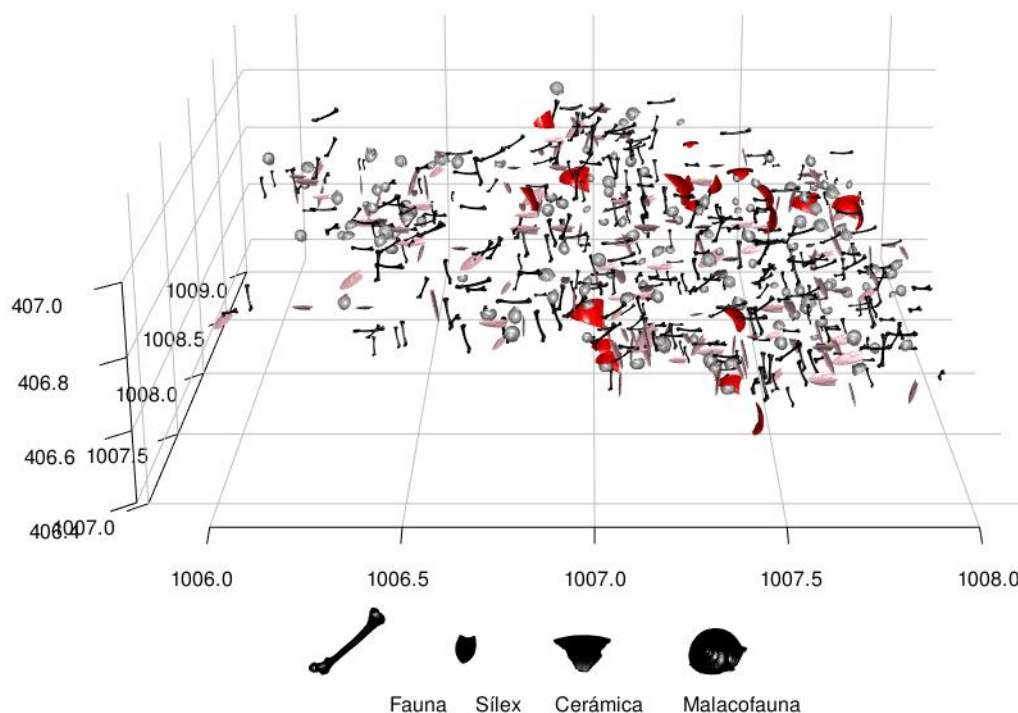


Figura 9: Distribución de los materiales arqueológicos provenientes del sondeo 4 realizada con el paquete rgl.

En la actualidad nuestro equipo de trabajo está trabajando en completar la base de datos con la información proveniente de las excavaciones de los profesores Lluís Pericot (1941-1945) y Javier Fortea (1974-1981). El volumen de materiales depositados en los fondos del *Museu de Prehistòria* de Valencia es muy elevado, dado que estos sondeos se practicaron en el área de mayor concentración de evidencias de ocupación humana en la cavidad.

Aplicando la misma rutina que a los materiales procedentes del cribado de los sedimentos de 2015, se pueden introducir los materiales no inventariados, escasos en las excavaciones de Fortea, atendiendo a sus unidades mínimas de excavación, que varía desde paquetes de 1.5 x 1.25 x 0.30 m (562 l) en los que además se mezclan tierras provenientes de distintos niveles hasta paquetes de 0.33 x 0.33 x 0.04 m (4 l) individualizados con criterios estratigráficos. El equipo del profesor Javier Fortea inventarió y registró tridimensionalmente más de 8000 piezas resultado de sus intervenciones, principalmente referidas al denominado sector A, cuya inclusión (prácticamente finalizada) facilitará un análisis pormenorizado de sus relaciones espaciales y una relectura del libro que ese equipo tan cuidadosamente documentó (Diez Castillo et al., 2016).

En el aspecto de visualización se va a proceder a la representación de las capas y hallazgos mediante su adecuada texturización con el apoyo de programas como MeshLab (Cignoni et al., 2008), CloudCompare (CloudCompare, 2016) y ParaView (Henderson, 2006). Del mismo modo hemos planificado la migración (o al menos la replicación) de la base de datos desde el entorno FileMaker al entorno PostgreSQL con su extensión espacial PostGIS, toda vez que el entorno PostGIS parece el lugar más adecuado para combinar los datos provenientes de nuestros escáneres terrestres con los datos tomados con la estación total (Smith & Levy, 2012).

5. Conclusión

La aplicación de técnicas de reconstrucción 3D al proceso de excavación de la Cueva de la Cocina ha demostrado ser un elemento que ayuda tanto en la gestión de datos, como en la virtualización de los diferentes momentos de ocupación de la cueva. Si bien la reconstrucción de yacimientos arqueológicos con nuevas tecnologías como los escáneres 3D es un hecho cada vez más común, no lo es tanto su aplicación en el día a día del proceso de excavación. En este sentido, nuestro protocolo de actuación demuestra que es posible combinar las técnicas tradicionales de excavación y documentación con las nuevas tecnologías en el trabajo arqueológico cotidiano. El trabajo realizado en Cueva de la Cocina supone, por ello, un pequeño paso hacia la normalización del uso de esas tecnologías a las excavaciones arqueológicas. Las posibilidades que se abren son inmensas y serán las actuaciones futuras las que pongan de relieve la potencialidad del trabajo de documentación realizado. Los arqueólogos tenemos una obligación deontológica para con el patrimonio que implica, de manera muy especial, la documentación de los hallazgos realizados durante la excavación.

En el caso de la Cueva de la Cocina hemos pasado de modelos 3D destinados principalmente a las labores de divulgación del patrimonio a incorporar esos datos a las tareas de investigación cotidianas del equipo arqueológico, eso permite que el esfuerzo de documentación realizado se pueda plasmar en diferentes trabajos de investigación.

Agradecimientos

El trabajo presentado se ha llevado a cabo en el marco del proyecto "MESO COCINA: los últimos cazarecolectores y el paradigma de la neolitización en el mediterráneo occidental" (HAR2012-33111), subvencionado por el Ministerio de Economía y Competitividad, Gobierno de España y el proyecto

HAR2015-68962, EVOLPAST: Dinámicas evolutivas y patrones de variabilidad cultural de los últimos caza-recolectores y el primer neolítico en el este peninsular (circa 7000-4500 cal BC). El escaneado láser de la cavidad ha sido efectuado por la empresa Global

Mediterránea & Geomática (Valencia). Los trabajos de campo se han llevado a cabo dentro del programa de investigaciones del SIP-*Museu de Prehistòria* de la Diputación de Valencia.

Referencias

- Adler D., Murdoch, D., Nenadic, O., Urbanek, S., Chen, M., Gebhardt, A., Bolker, B., Csardi, G., Strzelecki, A., & Senger, A. (2016). Rgl: 3D Visualization Using OpenGL. R package version 0.95.1441. <https://cran.r-project.org/package=rgl>
- Ayachit, U. (2015). *The paraview guide: a parallel visualization application*. Nueva York: Kitware, Incorporated. Retrieved from <https://www.paraview.org/paraview-downloads/download.php?submit=Download&version=v5.3&type=data&os=all&downloadFile=ParaViewGuide-5.3.0.pdf>
- Baddeley, A., & Turner, R. (2005). Spatstat: An R Package for Analyzing Spatial Point Patterns. *Journal of Statistical Software*, 12(6). <http://doi.org/10.18637/jss.v012.i06>
- Cignoni, P., Callieri, M., Corsini, M., Dellepiane, M., Ganovelli, F., & Ranzuglia, G. (2008). MeshLab: an open-source mesh processing tool. In V. Scarano, R. De Chiara, & U. Erra (Eds.), *Eurographics Italian Chapter Conference* (pp. 129-136). The Eurographics Association. <http://doi.org/10.2312/LocalChapterEvents/ItalChap/ItalianChapConf2008/129-136>
- CloudCompare Project (2016). CloudCompare (version 2.6) [GPL software]. Retrieved from <http://www.cloudcompare.org/>
- Diez Castillo, A., Cortell Nicolau, A., & García Puchol, O. (2016). Implementación de un SIG en la Cueva de la Cocina (Dos Aguas, Valencia). 10as Jornadas de SIG Libre, *en prensa*. Retrieved from https://www.academia.edu/26741747/Implementaci%C3%B3n_de_un_SIG_en_la_Cueva_de_la_Cocina_Dos_Aguas_Valencia
- Diez Castillo, A., García Puchol, O., Basile, M., Cortell Nicolau, A., & Tsanté, N. (2016). Propuesta de análisis tridimensional aplicado a la integración de las diferentes actuaciones arqueológicas realizadas en cueva de la Cocina (Dos Aguas, Valencia). In *ARQUEOLÓGICA 2.0-8th International Congress on Archaeology, Computer Graphics, Cultural Heritage and Innovation*, (pp. 524-527). Retrieved from [http://roderic.uv.es/bitstream/handle/10550/56578/diez_el_al2Proceedings Arqueologica 2.0.pdf](http://roderic.uv.es/bitstream/handle/10550/56578/diez_el_al2Proceedings%20Arqueologica%202.0.pdf)
- Felícísimo, A., Ruiz Cuetos, J. C., Polo García, M. E., Cuartero, A., & García Rodríguez, P. (2016). VecStatGraphs3D: Vector analysis using graphical and analytical methods in 3D. R package version 1.6. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=VecStatGraphs3D>
- Feito Higuera, F. R., & Segura Sánchez, R. J. (2010). Herramientas SIG 3D. *Virtual Archaeology Review*, 1(1), 87–91. <http://doi.org/10.4995/var.2010.4795>
- Forte, M. (2011). Cyber-Archaeology: Notes on the simulation of the past. *Virtual Archaeology Review*, 2(4), 7–18. <http://doi.org/10.4995/var.2011.4543>
- Forte, M. (2014). 3D archaeology: New perspectives and challenges—the example of Çatalhöyük. *Journal of Eastern Mediterranean Archaeology and Heritage Studies*, 2, 1–29. <http://doi.org/10.13140/2.1.3285.0568>
- Forza, J. (1973). *Los complejos microlaminares y geométricos del Epipaleolítico mediterráneo español*. Salamanca: Universidad de Salamanca (Memorias del Seminario de Prehistoria y Arqueología, 4).
- García Puchol, O., Juan Cabanilles, J., McClure, S. B., Diez Castillo, A., & Pardo Gordó, S. (2015). Avance de resultados de los nuevos trabajos arqueológicos en Cueva de la Cocina (Dos Aguas, Valencia): campaña de 2015. *Saguntum (PLAV)*, 47, 251–255. <http://doi.org/10.7203/SAGVNTVM.47.7195>
- García Puchol, O., Juan Cabanilles, J., McClure, S. B., Pascual Benito, J. Li., Martí Oliver, B., Pérez Ripoll, M., Bernabeu Aubán, J., Pardo Gordó, S., Molina Balaguer, Li., Carrión Marco, Y., & Diez Castillo, A. (2014). Los últimos caza-recolectores en Cueva de la Cocina (Dos Aguas, Valencia). En R. Sala (Coord.), *Los cazadores y recolectores del Pleistoceno y del Holoceno en Iberia y el estrecho de Gibraltar* (pp. 370–372). Burgos: Universidad de Burgos/Fundación Atapuerca.
- gvSIG (2015): Retrieved from <http://www.gvsig.com/es/productos/gvsig-desktop>
- Henderson, A. (2006). *The ParaView Guide: A Parallel Visualization Application*. Nueva York: Kitware, Incorporated.

- Lafarge, T., Pateiro-López, B., Possolo, A., & Dunkers, J. P. (2014). R Implementation of a Polyhedral Approximation to a 3D Set of Points Using the α -Shape. *Journal of Statistical Software* 56(4), 1–19. <http://doi.org/10.18637/jss.v056.i04>
- Lafarge, T., & Pateiro-López, B. (2016). Alphashape3d: Implementation of the 3D Alpha-Shape for the reconstruction of 3D sets from a point cloud. R package version 1.2. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=alphashape3d>
- Laplace, G., & Méroc, L. (1954). Application des coordonnées cartésiennes à la fouille d'un gisement. *Bulletin De La Société Préhistorique Française*, 51(1-2), 58–66. <http://doi.org/10.3406/bspf.1954.12427>
- Mousavian, A., Angelov, D., Flynn, J., & Kosecka, J. (2017). 3D bounding box estimation using deep learning and geometry. *CoRR*, abs/1612.00496. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1612.00496>
- Olaya, V. (2009). Sextante, la librería de análisis geoespacial libre: presente y futuro. En *III Jornadas de SIG Libre*, Girona, España: SIGTE-Universitat de Girona. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10256.1/1035>
- Pericot, L. (1945). La Cueva de la Cocina (Dos Aguas). *Archivo de Prehistoria Levantina* 2(nota preliminar), 39–71. Retrieved from http://www.museuprehistoriavalencia.es/web_mupreva_dedalo/publicaciones/349/es
- Qgis Development Team (2015). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Retrieved from <http://qgis.osgeo.org>
- R Core Team (2015). *R: A language and environment for statistical computing*. Retrieved from <https://www.R-project.org/>
- R Core Team (2016). foreign: Read Data Stored by Minitab, S, SAS, SPSS, Stata, Systat, Weka, dBase, R package version 0.8-66. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=foreign>
- Smith, N. G., & Levy, T. E. (2012). Real-time 3D archaeological field recording: ArchField, an open-source GIS system pioneered in southern Jordan. *Antiquity*, 86(331). <http://antiquity.ac.uk/projgall/smith331/>
- Tejerina Antón, D., Bolufer i Marqués, J., Esquembre Bebia, M. A., & Ortega Pérez, J. R. (2012). Documentación 3D de pinturas rupestres con Photomodeler Scanner: los motivos esquemáticos de la Cueva del Barranc del Migdia (Xàbia, Alicante). *Virtual Archaeology Review*, 3(6), 64–67. <http://doi.org/10.4995/var.2012.4443>
- The Jump Pilot Project (2015). OpenJUMP SIG – The free and open source Java-based desktop SIG. Retrieved from <http://www.openjump.org/>
- Torres, J. C., Cano, P., Melero, J., España, M., & Moreno, J. (2010). Aplicaciones de la digitalización 3D del patrimonio. *Virtual Archaeology Review* 1(1), 51–54. <http://doi.org/10.4995/var.2010.4768>