

Propuesta metodológica para el estudio volumétrico de cerámica arqueológica a través de programas *free-software* de edición 3D: el caso de las necrópolis celtibéricas del área meseteña.

Methodological proposal for the volumetric study of archaeological ceramics through 3D edition *free-software* programs: the case of the celtiberians cemeteries of the meseta.

Álvaro Sánchez Climent y María Luisa Cerdeño Serrano

Departamento de Prehistoria. Facultad de Geografía e Historia.
Universidad Complutense de Madrid. Madrid. España.

Resumen

Actualmente los programas software-libre se han convertido en herramientas idóneas para las investigaciones arqueológicas, llegando prácticamente al mismo nivel que los programas de carácter comercial. En este sentido, el programa de modelado 3D Blender ha alcanzado en los últimos años una gran popularidad al ofrecer características similares a otros programas de edición 3D como 3D Studio Max o AutoCAD. Recientemente se desarrolló el script necesario para el cálculo volumétrico de objetos tridimensionales, ofreciendo grandes posibilidades a la hora de calcular el volumen de recipientes cerámicos arqueológicos. En este trabajo se ofrece una propuesta metodológica para el cálculo de volúmenes con Blender y una aplicación de estudio a las urnas cerámicas de las necrópolis de la Celtiberia meseteña con el objetivo de probar las grandes posibilidades que actualmente alcanzan las herramientas free-software de edición 3D en los estudios de volúmenes.

Palabras Clave: CERÁMICA, BLENDER, ESTUDIOS VOLUMÉTRICOS, NECRÓPOLIS CELTIBÉRICAS.

Abstract

Nowadays the free-software programs have been converted into the ideal tools for the archaeological researches, reaching the same level as other commercial programs. For that reason, the 3D modeling tool Blender has reached in the last years a great popularity offering similar characteristics like other commercial 3D editing programs such as 3D Studio Max or AutoCAD. Recently, it has been developed the necessary script for the volumetric calculations of three-dimensional objects, offering great possibilities to calculate the volume of the archaeological ceramics. In this paper, we present a methodological approach for the volumetric studies with Blender and a study case of funerary urns from several celtiberians cemeteries of the Spanish Meseta. The goal is to demonstrate the great possibilities that the 3D editing free-software tools have in the volumetric studies at the present time.

Key words: CERAMIC, BLENDER, VOLUMETRIC STUDIES, CELTIBERIAN CEMETERIES.

1. INTRODUCCIÓN: LA REALIDAD VIRTUAL APLICADA AL ESTUDIO DE LA CERÁMICA ARQUEOLÓGICA.

Paul Reilly ya definió en la década de los años noventa las grandes bondades que suponía la Arqueología Virtual en su aplicación al estudio del patrimonio arqueológico, pues creía que era un “conjunto de técnicas informáticas que permiten la visualización 3D de la representación virtual y realista de los objetos y edificios antiguos, cuyos restos han desaparecido o están en un estado de preservación tan deficiente que hacen imposible su observación o muy difícil su interpretación.” (Reilly, 1990: 133 – 139). No obstante, ha sido los últimos años cuando la Arqueología Virtual ha experimentado un verdadero auge al compás de los avances tecnológicos de los medios computacionales y con la aparición de diversos programas de edición 3D cada vez más especializados. Se han convertido, por tanto, en herramientas ideales no solamente para la presentación del patrimonio arqueológico, sino que también su utilidad queda manifestada en los trabajos de campo y en el estudio de la cultura material, permitiendo el almacenamiento de una serie de datos matemáticos precisos en formato digital de fácil acceso (Martínez *et al.* 2010: 133), ya que una de las grandes ventajas de la informática es la facilidad a la hora de gestionar de manera rápida y eficaz nuestro trabajo y toda la información generada.

Uno de los materiales arqueológicos que más se ha beneficiado de las grandes posibilidades que ofrecen los modelados tridimensionales es la cerámica suponiendo “un desarrollo importante a la hora de avanzar en la metodología del dibujo y visualización de los recipientes cerámicos documentados en intervenciones arqueológicas” (*Ibidem*: 133). Por ello, dichos modelos tridimensionales deben ser considerados como “herramientas estándar de análisis cerámico, puesto que permiten almacenar la formas cerámicas en formato digital agilizando enormemente el proceso de dibujo de las formas y permitiendo la elaboración de láminas de dibujos de alta

calidad, por otro lado permiten avanzar en estudios referentes a los modos de producción a partir de la uniformidad o variabilidad de formas cerámicas” (*Ibidem*: 133).

A partir de la digitalización de un dibujo convencional de cerámica se puede extraer modelos tridimensionales a escala, permitiendo establecer la hipótesis sobre cómo pudo ser el recipiente en el momento de desecho o abandono (Fig.1), establecer patrones clasificatorios a partir de la delineación de los perfiles y, sobre todo, realizar cálculos volumétricos, objeto específico de nuestro trabajo. A la hora de realizar el cálculo volumétrico de los recipientes arqueológicos hay que tener en cuenta algunos requisitos indispensables: la escala del dibujo y la necesidad de que el recipiente se encuentre en buen estado de conservación. A partir del estudio tecno-tipológico y volumétrico de los recipientes arqueológicos se pueden inferir mayores conclusiones sobre su funcionalidad, lo que convierte a estas herramientas en complementos perfectos para los investigadores para avanzar más allá de la clasificación tipológica tradicional.

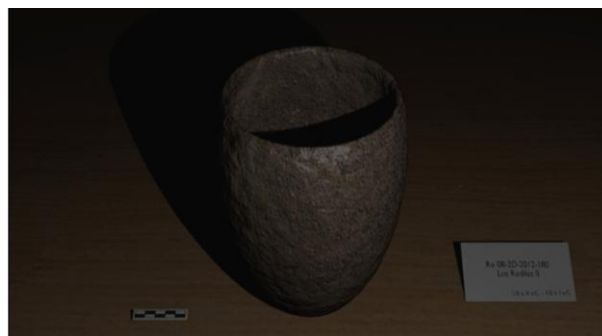


Figura 1. Reconstrucción de un recipiente cerámico a mano procedente del yacimiento de Los Rodiles (Cubillejo de la Sierra, Guadalajara) (Sánchez Climent, e.p.)

2. HERRAMIENTAS *FREE-SOFTWARE* PARA EL CÁLCULO VOLUMÉTRICO DE RECIPIENTES CERÁMICOS: *BLENDER*.

Gracias a las posibilidades que actualmente ofrecen las herramientas *free-software* podemos realizar modelados tridimensionales con prácticamente la misma calidad que otras herramientas comerciales de edición 3D, tales

como por ejemplo, *AutoCAD* o *3D Studio*. La principal ventaja de este tipo de programas es su licencia libre, lo que permite su uso gratuito y libre distribución, a la vez que al tratarse de programas de código abierto permite a sus usuarios la creación de actualizaciones y extensiones de manera libre y desinteresada, permitiendo mejorar el programa con cada nueva versión.

En el seno de este tipo de programas de código abierto nace *Blender*, una herramienta basada en la licencia *GNU-GPL (General Public License)* que comenzó su andadura a principios de la década de los 2000, y que con el paso del tiempo ha ido ganando en calidad, así como en actualizaciones y popularidad, de tal manera que al día de hoy se ha convertido en una de las herramientas de edición libre más empleada, llegándose a emplear incluso en la industria del cine y del videojuego. En el año 2012 se lanzó para versiones 2.63 y superiores el *script* necesario para el cálculo volumétrico de modelados tridimensionales, lo que convierte a esta extensión en la ideal para el cálculo volumétrico de recipientes cerámicos arqueológico de manera fácil y sencilla a partir de un modelado 3D procedente del dibujo arqueológico convencional de la cerámica, ya que lo único que se requiere es la instalación del programa en su versión 2.63 o superior y la descarga e instalación del *script mesh volume tools*¹ en la carpeta correspondiente del programa.

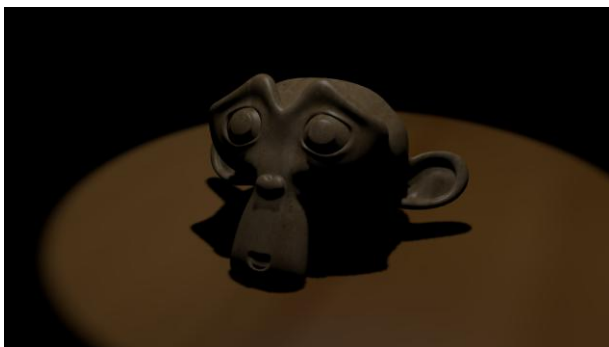


Figura 2. La mona Suzanne. Mascota de Blender.

¹ *Script* diseñado por Tom SF Haine. Actualmente dicha extensión está disponible para su descarga y uso, al igual que Blender, en la página oficial del programa: www.blender.org. La última actualización del *software* en el momento que se está escribiendo este trabajo es la versión 2.71.

Aparte de tratarse de un programa de edición libre, las principales ventajas de *Blender* son las siguientes:

- Múltiples formatos de ficheros de salida: imagen (jpg, bmp, tiff, etc.) y vídeo (avi, mpeg).
- Gran variedad de primitivas geométricas.
- Efectos de iluminación y simulación (partículas, humo, líquidos, etc.), posibilidad de añadir texturas de diverso tipo.
- Compatibilidad con otros programas de edición tridimensional (*3D Studio*, *AutoCAD*), lo que permite la importación y exportación de archivos en otros formatos.

3. CÁLCULOS VOLUMÉTRICOS Y SUS POSIBILIDADES EN EL ESTUDIO DE LAS CERÁMICAS ARQUEOLÓGICAS.

Según Sopena (2006: 18), a la hora de calcular los volúmenes de los recipientes cerámicos podemos establecer una serie de intervalos en función de atributos como el peso o la capacidad y, teniendo en cuenta los contextos, podemos establecer patrones clasificatorios (Fig. 3). Así pues, si estudiamos los recipientes de una zona de almacenaje, está claro que los intervalos de estudio serán completamente diferentes a los calculados en un ambiente doméstico donde predominarán recipientes de pequeño formato:

Capacidad inferior a n1 cc: este tipo de cerámicas son las denominadas dinámicas, entendiéndose por ellas las cerámicas que por su peso y volumen serían fácilmente manipulables y, por tanto, de movilidad frecuente.

Capacidad intervalo entre n1 y n2 cc: cerámicas estáticas-dinámicas. Son aquellos recipientes que por capacidad y volumen, su manipulación sería más difícil y menos frecuente.

Capacidad superior a n2 cc: nos referimos a cerámicas estáticas, de mayor tamaño y de manipulación poco frecuente.

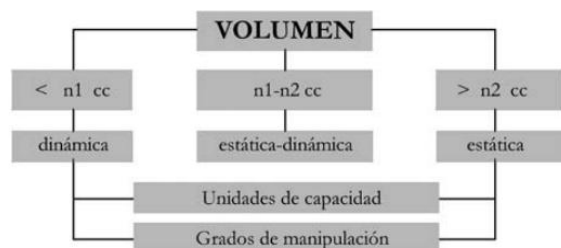


Figura 3. Categorías según capacidad y peso, siendo N el valor de volumen resultante en nuestro estudio (Sopena, 2006: 18).

Esta autora (2006: 18) creía que en un ambiente doméstico los recipientes dinámicos serían aquellos de pequeño formato cuya manipulación sería sencilla y frecuente, siendo este tipo de recipientes los destinados principalmente al consumo, como por ejemplo, cuencos, platos, copas, etc. cuya principal característica sería su alta tasa de reemplazo. Por su parte los recipientes estáticos-dinámicos o semiestáticos tendrían un mayor volumen y peso y, por consiguiente, una manipulación más costosa y menos frecuente por lo que este tipo de recipientes podrían relacionarse con tareas de despensa, tales como, almacén a nivel doméstico o funcionalidad de cocina si existen evidencias de colocación en el fuego. En último lugar, los recipientes estáticos se incluirían aquellos de gran formato cuyo volumen y peso no permitiría la manipulación frecuente siendo, por tanto, recipientes destinados a almacenaje, cuya manipulación se realizaría cuando el recipiente se encontrara vacío y con carácter estacional, y al transporte de sólidos y líquidos (Mata y Bonet, 1992: 124), preferentemente en el caso del transporte a larga distancia (bien por tierra o por mar), pues lo que interesaba era el transporte de la mayor carga de producto posible.

Como ya hemos mencionado, tenemos que tener en cuenta el contexto de las piezas estudiadas a la hora de establecer los intervalos, pues no es lo mismo un ambiente doméstico que un ambiente funerario como el que analizamos a continuación. Como veremos en el caso de las necrópolis de incineración celtibéricas no era frecuente el empleo de recipientes de gran tamaño, sino los de

pequeño-medio formato con una clara tendencia a disminuir el tamaño de las urnas cerámicas a medida que fue pasando el tiempo. En este caso, la funcionalidad de los recipientes cerámicos no sería objeto de discusión, pues están destinados a contener las cenizas de los difuntos, para el caso de las urnas, o bien como vasos de ofrendas. Existiendo incluso algún caso especial, como la necrópolis de La Yunta (Guadalajara), en el que algunos vasos cerámicos actúan también como tapaderas de las urnas.

4. PASOS PARA EL CÁLCULO VOLUMÉTRICO DE RECIPIENTES CERÁMICOS CON *BLENDER*.

A la hora de calcular el volumen de un recipiente cerámico a través de modelos tridimensionales, hay que tener en cuenta qué recipientes se seleccionan. Cuando nos enfrentamos a los cálculos volumétricos es preferible o recomendable utilizar aquellos recipientes que se encuentren en un buen estado de conservación y que se conserven completos o prácticamente completos, de tal manera que pueda realizar una reconstrucción virtual de cómo pudo haber sido el objeto en su momento de uso y abandono atendiendo al concepto de *anastilosis*.

Así pues, el cálculo volumétrico de un recipiente arqueológico implica la digitalización/reconstrucción del mismo a un modelado tridimensional. Son tres los pasos fundamentales a la hora de acometer un cálculo de volúmenes: en primer lugar; la **selección del recipiente**, en segundo lugar la **digitalización/reconstrucción** de la superficie del mismo de tal manera que pueda obtener un modelado tridimensional y, en último lugar, el **reescalado** en formato digital atendiendo a las medidas de su tamaño real. Es importante, como hemos dicho, mantener las medidas originales de la vasija si queremos obtener un volumen que sea correcto y se ajuste a la realidad del recipiente.

Para realizar el cálculo volumétrico de recipientes arqueológicos, tenemos que atender antes a la fórmula de cálculo de volúmenes. Un recipiente cerámico, salvo casos excepcionales,

tiende a ser un recipiente cilíndrico dónde siempre es aplicada la misma fórmula (Fig. 4): $V = \pi r^2 h$, siendo V el volumen resultante, π , la constante 3,1415, r, el radio del cilindro al cuadrado y h, la altura. Como ya hemos comentado anteriormente, para obtener el volumen de un recipiente no es imprescindible tenerlo delante sino que se puede obtener, como ya hemos mencionado, a partir de un dibujo convencional de la cerámica, teniendo en cuenta la importancia de la escala, ya que cualquier variación de las medidas originales de la vasija puede alterar el resultado final.

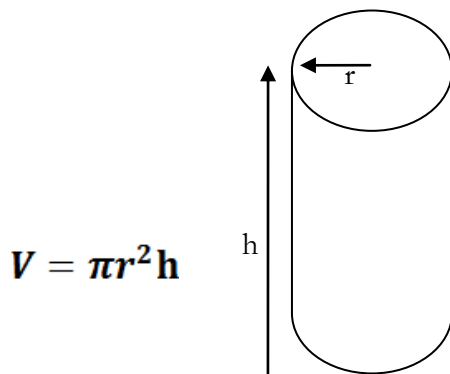


Figura 4. Representación de un cilindro con la fórmula para el cálculo del volumen. Dicha fórmula solamente es válida cuando se trate de un recipiente cilíndrico de paredes rectas cuyas bases midan exactamente lo mismo.

Aunque *Blender* no fue diseñado en origen para trabajar con recipientes cerámicos, se basa en el mismo principio para el cálculo de volúmenes de un cilindro atendiendo a las variaciones y los ángulos de la matriz poligonal que conforma nuestro recipiente digitalizado en tres dimensiones. Por esta razón es fundamental el escalado de la cerámica cuyas medidas introducimos en el *software* y que tenemos que tomar previamente de nuestro recipiente (Fig. 5), de tal manera que seleccionaremos un punto de nuestra cerámica que trasladaremos al programa informático. Para ello dotamos a nuestro dibujo de unas coordenadas X e Y como si se tratara de un eje de coordenadas

cartesiano, siendo X el diámetro del recipiente e Y la altura, prestando atención al grosor (G), ya que nos interesa calcular solamente la superficie interna del recipiente, que es la que nos indicará el volumen deseado. El programa, al realizar el modelado tridimensional, proporcionará la coordenada Z, siendo igual a X (Fig. 6). Las otras medidas son X' que es el resultado de restarle G a X e Y', la altura resultante de restar G' y H a Y.

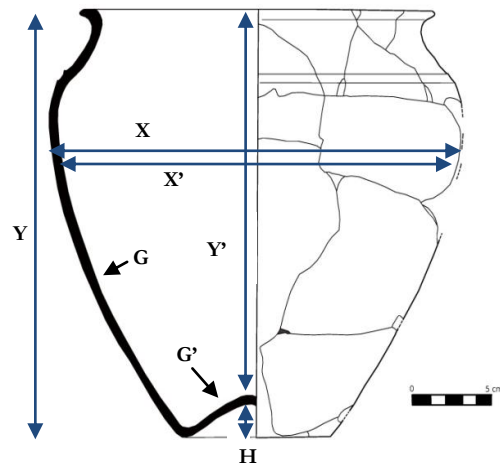


Figura 5. Variables métricas necesarias para la digitalización y posterior reescalado de nuestro modelado tridimensional. Recipiente cerámico procedente del poblado de Segontia Lanka (Langa de Duero, Soria). (Dibujo: Museo Numantino).

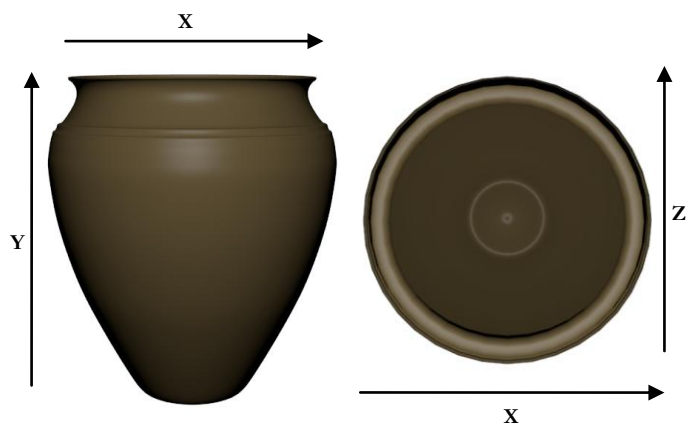


Figura 6. Resultado tras aplicar el modelado tridimensional al recipiente cerámico.

Una vez tomadas las medidas necesarias para el posterior reescalado; la digitalización/reconstrucción y cálculo volumétrico de los recipientes cerámicos se pueden resumir en los siguientes pasos (Fig. 7):

A. Digitalización del perfil de la cerámica

A través del dibujo convencional de la cerámica, *Blender* permite la digitalización del perfil de la vasija a través de la creación y modificación de los vértices de un plano bidimensional atendiendo a cualquier imperfección, variación, carenas, etc. en el propio perfil del recipiente.

Hay que recordar que para calcular el volumen de un recipiente solo es necesaria la superficie interna del mismo, por lo que a la hora de digitalizar tendremos que tratar ambas superficies por separado, ya que si no lo hacemos el programa interpreta la cerámica como una única superficie, por lo que el resultado volumétrico puede alterarse.

Si solamente interesa el volumen del recipiente, y no su digitalización, es posible digitalizar exclusivamente la superficie interna del mismo, por lo que solamente utilizaremos a las coordenadas X' e Y'. Hay que tener en cuenta que el número de vértices proporcionados dependerá del usuario a la hora de digitalizar. A mayor número de vértices, mayor número de polígonos.

Como ya hemos comentado al digitalizar la pieza cerámica, tenemos que tener en cuenta una serie de variables métricas a partir de la selección de un punto de nuestro recipiente (el diámetro máximo para el caso de la X, y la altura del recipiente para el caso de la Y.) y que trasladamos al *software*. El resto de puntos o vértices son proporcionales a nuestro punto seleccionado a la hora del reescalado.

B. Revolución cilíndrica:

Todos los recipientes cerámicos, salvo contadas excepciones, son recipientes de revolución. *Blender* posee una función denominada *spin* que permite a los vértices girar sobre sí mismos 360° manteniendo la escala original. El resultado de aplicar dicha función es la obtención de un modelado “primitivo” de nuestro recipiente cerámico. Es necesario la eliminación de vértices duplicados como consecuencia del efecto de girado a través de la opción *remove duplicate vertices*.

C. División superficial y suavizado de contornos:

El recipiente cerámico digitalizado está formado por un conjunto de vértices que conforman el modelado tridimensional o malla poligonal y que podemos multiplicar con la opción de tratamiento superficial *subdivision surface*, pudiéndose ampliar el número de vértices a diferentes niveles hasta un total de seis. Evidentemente, cuanto más alto sea el número de polígonos, mayor realismo tendrá la pieza, aunque con la consiguiente pérdida de rendimiento de nuestro computador, por lo que si no se tiene un ordenador potente, se recomienda siempre utilizar un nivel intermedio.

Tras la división de la malla poligonal, el siguiente paso a realizar es la aplicación del suavizado a través de la función *smooth*, lo que permite suavizar los contornos y perfiles reduciendo el aspecto poligonal del modelado tridimensional. Tras este paso, se dota a la pieza de la textura para crear el en recipiente un mayor nivel de realismo. Nivel que podemos aumentar si insertamos el modelado digital en un entorno visual de carácter virtual.

D. Reescalado y cálculo volumétrico:

Tras la finalización del modelado digital, se procede a la operación de reescalado. Este paso es muy importante y hay que prestar especial atención; ya que un mal reescalado alterará el cálculo del volumen, por lo que tenemos que tener muy claro que medidas corresponden a cada punto seleccionado y se han proporcionado correctamente al *software*.

Blender solamente trabaja con metros, por lo que es necesario convertir las unidades a la hora de introducir los datos. Al aplicar el *script mesh volumen tools* aparecerá una ventana con el resultado en formato decimal. Pero, hay que tener en cuenta que *Blender* calcula el volumen en una medida propia denominada *blender units* al cubo y que es equivalente a metros cúbicos; por tanto, si queremos pasar de unidad de metro cúbico a centímetro cúbico tendremos que multiplicar por un millón el resultado final. Hemos observado que en aquellos recipientes de muy pequeño tamaño, al estar las medidas de volumen en metros cúbicos, el resultado salía cero, pero existe una solución. Se multiplica las medidas del recipiente por diez, de tal manera que si teníamos en nuestra variable $X = 10$ cm, le proporcionamos a nuestro programa un valor de un metro. Lo mismo hay que hacer con el resto de variables Y y Z . El resultado obtenido se divide por mil y multiplicamos por un millón para obtener los centímetros cúbicos.

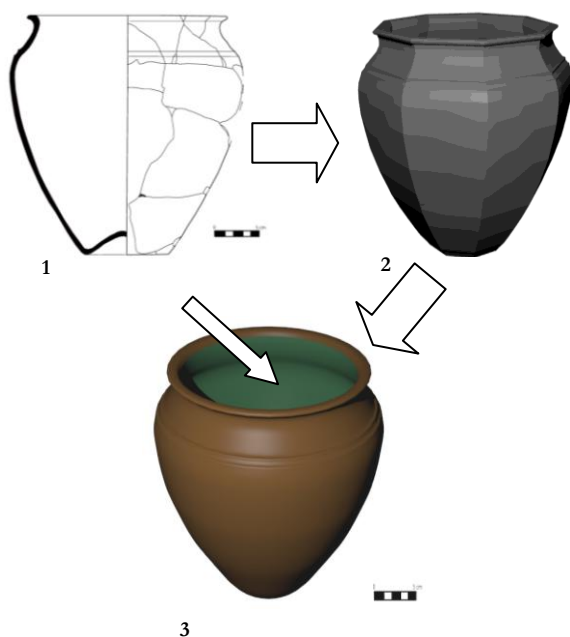


Figura 7. Proceso de digitalización del recipiente con el programa de modelado Blender 2.63. **1.** Dibujo convencional de un recipiente cerámico. (Dibujo: Museo Numantino). **2.** Digitalización del recipiente y resultado tras aplicar la función *Spin* sin suavizado. **3.** Renderizado final del recipiente cerámico para el cálculo del volumen de la superficie interior.

5. ESTUDIO DE CASO: ANÁLISIS VOLUMÉTRICO DE LAS URNAS CERÁMICAS DE ALGUNAS NECRÓPOLIS CELTIBÉRICAS DEL ÁREA MESETEÑA.

Una de las limitaciones de esta tecnología es la necesidad de contar con recipientes en buen estado de conservación que permita la digitalización o reconstrucción de la cerámica para poder calcular el volumen del recipiente. En este sentido, las necrópolis ofrecen una ventaja considerable al tratarse de contextos más cerrados que en muchas ocasiones posibilitan la conservación de las urnas. Por ello hemos seleccionado varias necrópolis de la Celtiberia meseteña (Fig. 8) con el objetivo de realizar un estudio volumétrico de algunas de sus urnas cerámicas.

A la hora de calcular los volúmenes se ha tenido en cuenta la cronología de las necrópolis estudiadas y como están bien contextualizadas hemos podido observar la evolución de las urnas cerámicas a lo largo de la Edad del Hierro permitiendo extrapolar estos datos a otros yacimientos celtibéricos peor contextualizados. Todos los volúmenes calculados en este trabajo están expresados en centímetros cúbicos (cc.). Para nuestros cálculos volumétricos hemos dejado de lado los vasos de ofrendas y las tapaderas ya que no estaban destinados a la contención de los restos incinerados y para cumplir con nuestro objetivo principal, solamente hemos calculado el volumen de las urnas cinerarias.

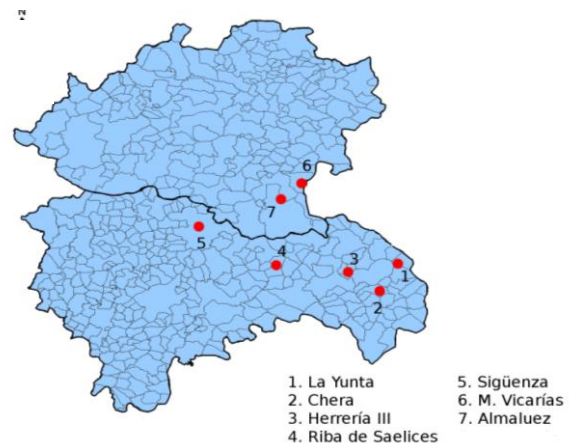


Figura 8. Localización de los yacimientos estudiados en las provincias de Guadalajara y Soria.



La necrópolis de Herrería III (Guadalajara) es una de las necrópolis más significativas recientemente estudiadas ya que ha proporcionado varios niveles sucesivos de utilización que han proporcionado una gran cantidad de datos sobre diferentes aspectos de la cultura celtibérica (Cerdeño y Sagardoy, 2007). La fase III corresponde al Celtibérico Antiguo y eleva la cronología de la I Edad del Hierro hasta el siglo VII a.C. (sin cal.).

Hemos elegido este yacimiento por su buen contexto aunque ofrece algunos inconvenientes para nuestro estudio volumétrico ya que se han conservado pocas urnas cerámicas debido tanto a que en algunas sepulturas no se utilizaría este tipo de recipiente, como a que algunos de ellos hayan desaparecido o hayan sido alterados por labores agrícolas modernas. En cualquier caso, hemos incorporado a nuestro estudio 4 recipientes fabricados a mano (Fig. 9).

Herrería III
Total recipientes: 4

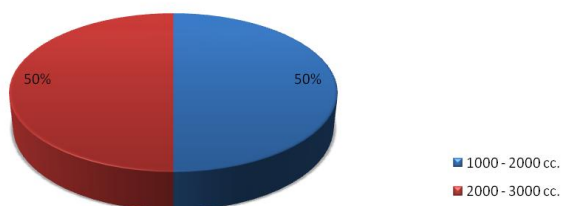


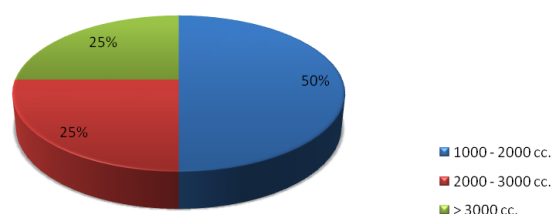
Figura 9: Resultados obtenidos tras el cálculo volumétrico de las urnas cerámicas de la necrópolis de Herrería III.

Aunque la muestra es escasa, el resultado ofrece un porcentaje equitativo entre las urnas de medio tamaño (1000 – 2000 cc. y 2000 – 3000 cc.) del 50% cuyos volúmenes oscilan entre los 1250 y 2700 cc. y, como veremos a continuación, son muy similares a los resultados obtenidos por las necrópolis de Sigüenza y Chera en su primera fase.

La necrópolis de Sigüenza (Guadalajara) se ha seleccionado porque está bien estudiada y ha proporcionado diferentes tipos cerámicos correspondientes a sus dos momentos de ocupación correspondientes al Celtibérico Antiguo (I Edad del Hierro) y al Celtibérico Pleno (II Edad del Hierro) (Cerdeño y Pérez de

Inestrosa, 1993). El número de sepulturas asciende a 33, de las cuales solamente se han conservado en buen estado 12, caracterizadas por urnas cerámicas, en un primer momento fabricadas a mano (Sigüenza I, 4 urnas), para posteriormente cambiar a urnas fabricadas a torno (Sigüenza II, 8 urnas). El nivel de conservación de las urnas es bueno, lo que ha permitido calcular su volumen (Fig. 10).

Sigüenza I
Total recipientes: 4



Sigüenza II
Total recipientes: 8

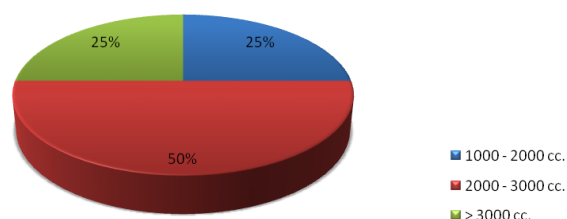


Figura 10: resultados obtenidos tras el cálculo volumétrico de las urnas cerámicas de la necrópolis de Sigüenza I (s. VI a.C.) y Sigüenza II (s. IV a.C.)

Los resultados obtenidos hablan por sí solos. Los porcentajes son muy equitativos en ambas fases. En Sigüenza I la mitad de los recipientes analizados corresponde a aquellos de volúmenes comprendidos entre 1000 y 2000 cc. Mientras que en Sigüenza II el 50% de los recipientes son aquellos comprendidos entre 2000 y 3000 cc. En ambos casos los recipientes de volúmenes superiores a 3000 cc. suponen el 25% de los totales analizados. A la luz de estos resultados, parece que en la fase de Sigüenza II continúan con recipientes de tamaños similares a los de Sigüenza I cambiando únicamente las cerámicas a mano por las a torno.

La necrópolis de Chera (Molina de Aragón, Guadalajara) la hemos seleccionado por su

similitud con la necrópolis de Sigüenza en cuanto a su contexto y por el buen estado de conservación de algunas de sus urnas cerámicas (Cerdeño, García Huerta y de Paz, 1983). Al igual que la necrópolis anteriormente citada, Chera tuvo dos fases de ocupación bien contextualizadas: Chera I (Celtibérico Antiguo, I Edad del Hierro) y Chera II (Celtibérico Pleno, II Edad del Hierro). Los resultados obtenidos los hemos resumido en las siguientes gráficas (Fig. 11):

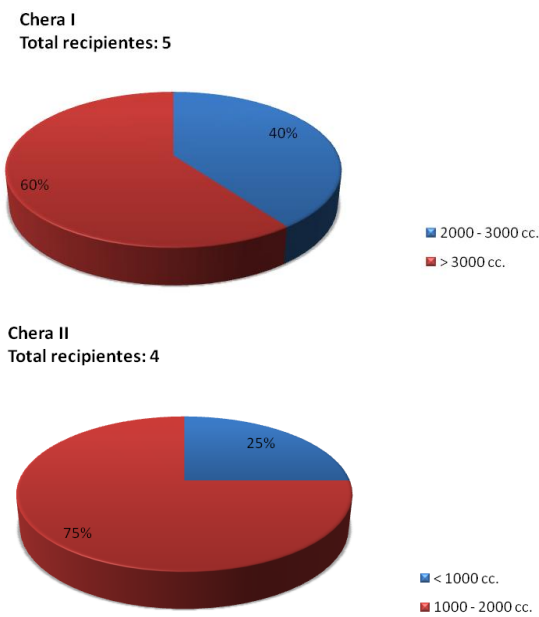


Figura 11: resultados obtenidos tras el cálculo volumétrico de las urnas cerámicas de la necrópolis de Chera I (s. VI a.C.) y Chera II (V a.C.).

Los resultados de la necrópolis de Chera son muy interesantes en cuanto que difieren de los obtenidos en la necrópolis de Sigüenza teniendo la misma contextualización. En Chera I se observa una mayoría de recipientes a mano con volúmenes superiores a los 3000 cc. (60%) llegando en algún caso a superar los 7000 cc. mientras que en Chera II los recipientes a torno con volúmenes entre 1000 y 2000 cc. están en mayoría (75%) quedando solamente un caso de recipiente a torno con un volumen inferior a los 1000 cc. En esta necrópolis se observa claramente que se produce una reducción del tamaño de las urnas en la segunda fase de ocupación, si bien, todavía se mantiene en mayoría las de tamaño medio.

Las necrópolis de Almaluez y Monteagudo de las Vicarías (Soria) fueron excavadas en la primera mitad del siglo XX por Blas Taracena (1932 y 1941), siendo un claro ejemplo de yacimientos arqueológicos estudiados con antiguos métodos cuyos materiales pueden considerarse descontextualizados formando parte de los fondos del Museo Numantino (Soria) y el Museo Arqueológico Nacional (Madrid). Pero algunas de sus cerámicas son muy interesantes y las hemos incluido en el estudio porque podemos compararlas con las procedentes de las otras necrópolis estudiadas con más garantías.

Aunque no conocemos el número de tumbas exactas, en el caso de la necrópolis de Almaluez hemos aplicado el estudio a un total de 27 urnas cerámicas de las cuales 22 están fabricadas a torno y 5 a mano. Éstas últimas ofrecen menos dudas que las a torno ya que son similares a las de Herrería III, Sigüenza I y Chera I, bien contextualizadas en la I Edad del Hierro y con volúmenes muy similares a dichos yacimientos (Fig. 12) y que oscilan entre los 1200 y 4000 cc. Por su parte, las urnas a torno ofrecen más dudas debido a su larga proyección en la II Edad del Hierro.

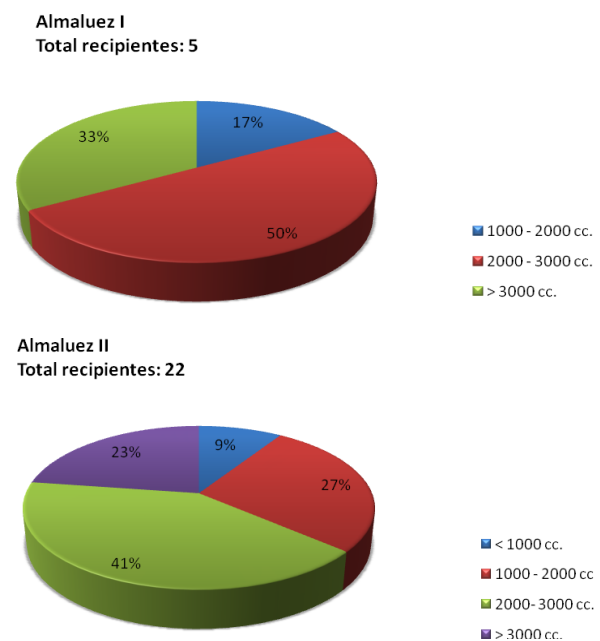


Figura 12. Resultados obtenidos tras el cálculo volumétrico aplicado a la necrópolis de Almaluez I (s. VI a.C.) y Almaluez II (s. V/IV a.C.?).

En el caso de Almaluez II se observa una clara preferencia por los recipientes de medio tamaño (1000 – 2000 cc. y 2000 – 3000 cc.) con porcentajes de 41% y 27% respectivamente, y de gran tamaño (> 3000 cc.) con un 23% del total calculado, quedando en inferioridad los recipientes de pequeño tamaño. La similitud de volúmenes de esta segunda fase con Sigüenza II o Chera II invita a que nos decantemos por una cronología del Celtibérico Pleno.

Monteagudo de las Vicarías
Total recipientes: 18

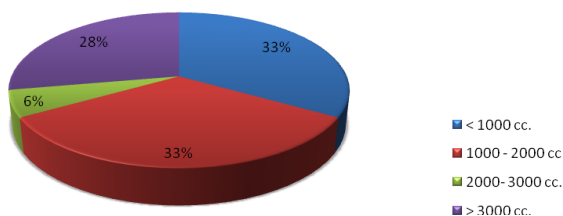


Figura 13. Resultados obtenidos tras el cálculo volumétrico aplicado a la necrópolis de Monteagudo de las Vicarías

Por su parte la necrópolis de Monteagudo de las Vicarías ofrece los mismos problemas que la necrópolis de Almaluez. Los recipientes de pequeño tamaño (< 1000 cc.) y medio tamaño (1000 – 3000 cc.) representan un 33% y un 39% respectivamente del total de 18 urnas a torno estudiadas, en contraposición a las urnas de mayor tamaño (> 3000 cc.) que suponen el 28% del total con un caso de urna cerámica de gran tamaño que supera los 10000 cc. (Fig. 13). Este caso permite plantear que la cronología del yacimiento abarcaría desde el Celtibérico Pleno basándonos en la similitud tipológica de Sigüenza II y de Riba de Saelices hasta el siglo III a.C. como parecen indicar los recipientes con paralelos muy próximos a los de La Yunta II, especialmente las urnas cerámicas con volúmenes inferiores a los 1000 cc.

La necrópolis de Riba de Saelices (Guadalajara) se caracteriza por la buena conservación de algunas de sus sepulturas. En total se excavaron 102 tumbas de las que se recuperaron en buen estado un total de 34 urnas cinerarias. Datada en el siglo III a.C. con algunas dudas (Cuadrado,

1968: 48), creemos que su cronología ofrece algunas dudas y que podría fecharse en momentos anteriores (probablemente siglo IV/V a.C.) basándonos en la similitud de recipientes cerámicos con los de Sigüenza II y, en menor medida, con algunos recipientes de La Yunta I, hipótesis que podría confirmarse con el cálculo volumétrico ahora realizado (Fig. 14).

Los resultados son muy interesantes pues observamos que los recipientes de menor volumen (< 1000 cc.) son los de menor presencia en el yacimiento (17%), al contrario que los recipientes de medio tamaño con un reparto equitativo entre el 20% (1000 – 2000 cc.) y el 18% (2000 – 3000 cc.) del total. Por su parte los de mayor volumen (> 3000 cc.), que en algún caso llegan a superar los 7000 cc., suponen la mitad de los recipientes analizados (50%).

Riba de Saelices
Total recipientes: 34

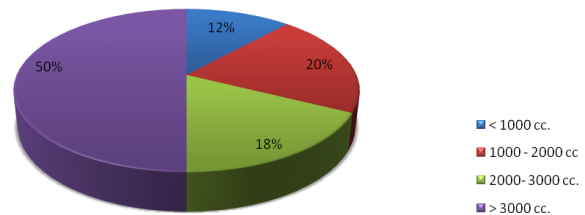
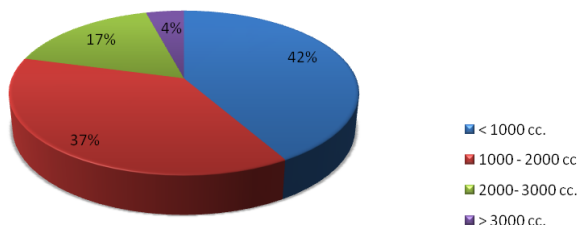


Figura 14: Resultados obtenidos tras el cálculo volumétrico de las urnas cerámicas de la necrópolis de Riba de Saelices.

La necrópolis de La Yunta (Guadalajara) es una de las más interesantes por las posibilidades que ofrece la aplicación de este método dado el buen estado de conservación de los recipientes cerámicos y por su buena contextualización. Se han recuperado hasta un total de 268 tumbas de incineración en dos fases de ocupación; de las que se publicaron 112 en primer lugar (García Huerta y Antona Val, 1992) y posteriormente algunas más (García Huerta y Antona Val, 1995), permaneciendo el resto de sepulturas inéditas.

La Yunta I
Total recipientes: 24



La Yunta II
Total recipientes: 62

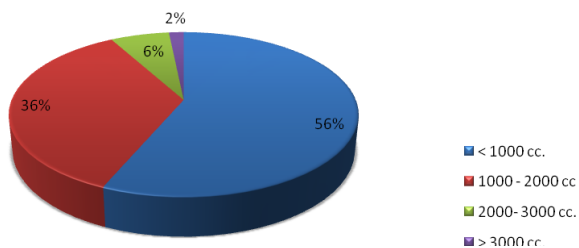


Figura 15: Porcentaje comparativo entre los volúmenes de las urnas cinerarias entre La Yunta I (s. $\frac{1}{2}$ IV a.C.) y La Yunta II (ss. III - $\frac{1}{2}$ II a.C.).

La peculiaridad de esta necrópolis reside en el empleo de cuencos y copas y, en menor medida, de algún caliciforme como tapaderas de las urnas. Pero, como comentábamos anteriormente, al no estar destinadas a la contención de restos incinerados hemos obviado estos recipientes en nuestro análisis, centrándonos exclusivamente en las urnas cinerarias, siendo 86 el total de cerámicas estudiadas, todas ellas fabricadas a torno.

Como podemos observar en las gráficas (Fig. 15) existe una clara mayoría de recipientes de pequeño formato (< 1000 cc.) en ambas fases de ocupación con una ligera ventaja en La Yunta II (56%) con respecto a La Yunta I (42%), seguido por los recipientes de volúmenes comprendidos entre 1000 y 2000 cc. con porcentajes muy igualados en ambas fases (36% y 37% respectivamente). En inferioridad se encuentran las urnas de volúmenes entre 2000 y 3000 cc. (17% en La Yunta I y el 6% en La Yunta II) y por último en clara minoría los recipientes de mayor tamaño que superan los 3000 cc. y que apenas suponen el 4% en La Yunta I y el 2% en La Yunta II.

6. RESULTADOS PRELIMINARES.

A la luz de los resultados obtenidos parece que existe una progresiva reducción del tamaño de los vasos cerámicos conforme fue avanzando la Edad del Hierro en la Celtiberia meseteña tal y como puede observarse bien en las necrópolis que hemos seleccionado y que están bien contextualizadas y estudiadas.

Se observa un cambio en el modelo de urna siendo mayoritarias las cerámicas a mano en el Celtibérico Antiguo con volúmenes que siempre oscilan entre los 1000 y 3000 cc. superando en algún caso los 3000 cc., aspecto que puede observarse bien en las necrópolis de Sigüenza I, Chera I, Herrería III y Almaluez I. Y eso va cambiando hacia cerámicas a torno del Celtibérico Pleno como puede verse en Sigüenza II, Chera II y Riba de Saelices, con volúmenes similares a los periodos anteriores. Aunque en algunos casos tienden a aparecer urnas cerámicas de menor volumen (como sucede en el caso de Chera, se mantienen en mayor porcentaje los volúmenes de medio (1000–3000 cc.) y mayor tamaño (> 3000 cc.), superando en algún caso concreto los 7000 cc. en Riba de Saelices, los 9000 cc. en Almaluez II y los 10000 en Monteagudo de las Vicarías. La prueba de esta tendencia hacia la reducción del tamaño de las urnas se observa con claridad en la necrópolis de La Yunta, donde se observa una pequeña variación entre ambos niveles de ocupación en cuanto a las urnas cerámicas de menor tamaño se refiere (< 1000 cc.) siendo un poco más grandes en La Yunta I que en La Yunta II. En cualquier caso, las urnas de pequeño y medio tamaño están representadas en mayor porcentaje existiendo, en el caso de las urnas de medio tamaño (1000–3000 cc.), una clara preferencia por los volúmenes comprendidos entre 1000 y 2000 cc. Esta preferencia por recipientes de pequeño tamaño no implica la desaparición de urnas con volúmenes superiores a los 3000 cc presentes en un porcentaje muy pequeño. Esta reducción del tamaño de las urnas cinerarias nos lleva a plantear si responde a cambios en el ritual de incineración recogiendo menor número de restos, o bien se pretendía aprovechar mejor el

espacio de la necrópolis ante un posible aumento poblacional asociado a la aparición de los primeros *oppida* celtibéricos tal y como sucede, por ejemplo, en la necrópolis de Numancia en la que se interpretó que la poca presencia de cerámica se debía a que el ritual utilizado implicaba el enterramiento de restos directamente en fosa envueltos en material perecedero en vez de urna (Jimeno *et al.* 2004: 292).

7. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS 3D AL CÁLCULO VOLUMÉTRICO DE RECIPIENTES CERÁMICOS ARQUEOLÓGICOS.

Las posibilidades de la Arqueología Virtual son amplias pero podríamos centrarlas en dos aspectos principales: en primer lugar su contribución a profundizar en el conocimiento técnico y funcional de los materiales arqueológicos y, por consiguiente, a conocer nuevas facetas de los grupos que los fabricaron y utilizaron. Y en segundo lugar su contribución a la difusión del patrimonio arqueológico al facilitar la comprensión de los yacimientos y los artefactos arqueológicos, muchas veces indescifrables para el gran público (Flores y López Martínez, 2010: 103).

Todo ello es posible gracias a las enormes posibilidades que ofrecen las nuevas tecnologías en internet permitiendo la recreación de entornos tridimensionales creando un entorno web que “proporciona una solución científico-técnica dirigida a la difusión pública tanto por su vía gráfica como métrica” (Angás y Serreta, 2010: 65) enfocándose, según dichos autores, en tres preceptos:

- Solución científico-técnica hacia la documentación gráfica y geométrica.
- Preservación/conservación-restauración.
- Entornos estandarizados para la difusión del patrimonio cultural al permitir la información de la organización necesaria.

La elaboración de modelados 3D a la cerámica arqueológica ha supuesto un desarrollo

importante en la metodología del dibujo arqueológico y la visualización de recipientes cerámicos. “La comprensión de artefactos 3D es esencial para la disciplina de la arqueología, puesto que se basa en gran parte en la visualización de objetos y artefactos arqueológicos” (Martínez *et al.* 2010: 133).

El empleo de herramientas de modelado 3D en la reconstrucción y digitalización de cerámicas arqueológicas ofrece, sin duda, una serie de ventajas empezando por la fácil accesibilidad a esta herramienta de trabajo, como es el hecho de no necesitar la pieza original para la reconstrucción o digitalización, pudiendo hacerse a partir únicamente de un dibujo convencional con escala de la cerámica a estudiar. Además, el almacenamiento de archivos en formato digital permite operar con grandes cantidades de información de manera rápida y eficaz.

Con este tipo de programas de edición 3D, el cálculo volumétrico es muy asequible, ventaja que se ve implementada gracias al empleo de herramientas de edición libre, ya que al ser de código abierto, y por consiguiente gratuitas, no suponen ningún coste adicional.

Las indudables ventajas que presenta esta herramienta de trabajo no deben verse mermadas por su mala utilización. La principal ventaja de este sistema es que parte de un dibujo convencional del objeto estudiado como único elemento para poder trabajar el *software* y por ello sus medidas y la escala del dibujo deben ser exactas. Si la escala es incorrecta, el volumen calculado resultante será erróneo y cualquier variación de las medidas en el dibujo del recipiente, puede alterar el volumen calculado.

Este método está planteado para ser aplicado solamente a los recipientes cerámicos de revolución, lo que supone casi la totalidad de los recipientes exhumados en un yacimiento arqueológico, existiendo muy pocos casos cuya forma no permite la digitalización por este sistema a través de un dibujo convencional, necesitando otra técnica de digitalización.

Cualquier variación a la hora de digitalizar el perfil de una pieza puede implicar variaciones

mínimas en el volumen final, por lo que es aconsejable la aplicación de un pequeño porcentaje de error a la hora de digitalizar y calcular el volumen de los recipientes.

Cuando aplicamos estos sistemas para el cálculo de volúmenes, hay que conocer bien el contexto arqueológico del que proceden los recipientes seleccionados antes de asignar parámetros o atributos clasificatorios que tiendan a homogeneizar los datos y luego los resultados. Pensemos que, por ejemplo, en los lugares de habitación suelen convivir recipientes de muy diferentes tamaños, desde los muy pequeños a los grandes contenedores debido a la multiplicidad de tareas en ellos desarrolladas. En cambio, en las necrópolis que hemos analizado suelen aparecer únicamente recipientes de

pequeño y mediano formato dedicados a funciones estrictamente rituales.

Como conclusión podemos afirmar que estas técnicas de edición 3D son de gran utilidad y ofrecen numerosas ventajas a la hora de estudiar los materiales arqueológicos, especialmente la cerámica. Como en el caso de cualquier técnica aplicada y relativamente moderna, aparecen continuamente nuevos desarrollos que van ampliando sus posibilidades de uso y por ello los arqueólogos debemos estar atentos ya que pueden mejorar las formas de trabajo aplicadas a nuestras investigaciones.

BIBLIOGRAFÍA

ANGÁS, J. y SERRETA, A. (2010): “Valoración y difusión del patrimonio arqueológico mediante un entorno web 3D. Documentación de Santa María de Iguacel (XI d.C.)” en *Virtual Archaeology Review (VAR)*, vol. 1 (1), pp. 63-67.

CERDEÑO, M.L.; GARCÍA HUERTA, R. y De PAZ ESCRIBANO, M. (1983): “La necrópolis de Molina de Aragón (Chera, Guadalajara): Campos de Urnas en el Este de la Meseta” en *Wad-al-Hayara*, 8, pp. 9-82.

CERDEÑO, M.L. y PÉREZ DE INESTROSA, J.L. (1993): *La necrópolis celtibérica de Sigüenza: revisión del conjunto*. Monografías Arqueológicas del S.A.E.T, nº 6. Colegio Universitario de Teruel, Teruel.

CERDEÑO, M.L. y SAGARDOY, T. (2007): *La necrópolis celtibérica de Herrería III (Guadalajara)*. Centro de Estudios Celtibéricos. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, Zaragoza.

CUADRADO, E. (1968): *Excavaciones en la necrópolis de Riba de Saelices (Guadalajara)*. Ministerio de Educación Nacional, Madrid.

FLORES, M. y LÓPEZ MARTÍNEZ, C.M. (2010): “Del hallazgo arqueológico al ciberespacio” en *Virtual Archaeology Review (VAR)*, vol. 1 (2), pp. 101-105.

GARCÍA HUERTA, R. y ANTONA del VAL, V. (1992): *La necrópolis celtibérica de La Yunta (Guadalajara). Campañas 1984 – 1987*. Servicio de Publicaciones de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, Villarrobledo.

- (1995): “La necrópolis Celtibérica de La Yunta” en *Arqueología en Guadalajara. Patrimonio Histórico-Castilla-La Mancha*. (coords. Balbín, R. de; Valiente, J. y Mussat, M.T.). Servicio de Publicaciones de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha: 193-207, Toledo.

JIMENO, A. De la TORRE, J.I.; BERZOSA, R. y MARTÍNEZ, J.P. (2004): *La necrópolis Celtibérica de Numancia*. Arqueología en Castilla y León, 12. Junta de Castilla y León, Soria.

MARTÍNEZ CARRILLO, A.; RUIZ RODRÍGUEZ, A. y RUBIO, M.A. (2010): “Digitalización y visualización 3D de cerámica arqueológica” en *Virtual Archaeology Review*, 1(2): 133-136.

MATA, C. y BONET, H. (1992): “La cerámica ibérica: ensayo de tipología” en *Estudios de Arqueología Ibérica y Romana: Homenaje a Enrique Pla Ballester*. Servicio de Investigación Prehistórica. Valencia: Diputación Provincial de Valencia, pp. 117-173.

REILLY, P. (1990): “Toward a Virtual Archaeology” en *Computer Applications in Archaeology* (eds. Lockyear, K. y Rahtz, S.) Oxford. British Archaeological Reports (INT Series 565), pp. 133-139.

SÁNCHEZ CLIMENT, A. (e.p.): “Reconstrucción 3D y Realidad Virtual: las nuevas tecnologías en la reconstrucción de cerámica arqueológica” en Padilla, J.J. y Alarcón, E. (coords), *II Congreso Internacional sobre Estudios Cerámicos. Etnoarqueología y Experimentación más allá de la analogía*. Universidad de Granada, Granada.

SOPENA, M.C. (2006): “La investigación arqueológica a partir del dibujo informatizado de cerámica” en *Saldvie*, nº6, pp. 13-27.

TARACENA, B. (1932): *Excavaciones en la provincia de Soria*. Madrid. Junta Superior de Excavaciones, 119. Madrid.

- (1941): *Carta Arqueológica de España*. Soria. Madrid.