

Sobre el uso de herramientas informáticas para la cuantificación cerámica: el EVE 2.0

About the use of computer tools for the Pottery Quantification: the EVE 2.0

MIGUEL BUSTO ZAPICO¹

Alma Mater Studiorum, Università di Bologna

RESUMEN

En el presente trabajo abordamos la renovación del índice de cuantificación cerámica EVE («equivalente de vasija estimado»). Mediante el uso de las Tecnologías de Información Geoespacial: concretamente el SIG, CAD y modelado 3D, hemos formulado el EVE 2.0. Esta metodología de cuantificación es capaz de asignar a cada uno de los fragmentos un valor porcentual con respecto a una totalidad, independientemente de otros factores o variables que puedan alterar esta medida. Conseguimos por tanto relacionar esas unidades de análisis (o fragmentos cerámicos) con un artefacto básico o recipiente cerámico. Desde el punto de vista cuantitativo el EVE 2.0 es una medida imparcial, no afectada por la fracturabilidad, capaz de obtener datos acerca de las proporciones de determinado tipo dentro de un conjunto al mismo tiempo que permite comparar las proporciones que obtengamos entre éste y otros grupos. El uso de un valor porcentual es un procedimiento necesario que permite poner en marcha métodos cuantitativos más sofisticados.

Palabras clave: cerámica, cuantificación, EVE, CAD, modelado 3D.

ABSTRACT

In the following lines, a renewal of the quantification index EVE («estimated vessel equivalent») is presented. Using the Geospatial Information Technologies, especially the GIS, CAD and 3D modelling, we propose the EVE 2.0. This method of quantification is able to assign to each pottery fragments a percentage value with respect to entirety, regardless of other elements or variables which could modify this measurement. In this sense, we are able to relate this units of analysis (pottery fragments) with a specific artefact or vessel. From a quantitative point of view, the EVE 2.0 is an

1 Vicerrectorado de Investigación y Campus de Excelencia Internacional de la Universidad de Oviedo en convenio con la *Università di Bologna*. Personal Investigador en Formación, Programa “Severo Ochoa” de Ayudas Predoctorales, Universidad de Oviedo. Correo: bustomiguel@uniovi.es.

impartial measurement, not affected by fracturability. It can obtain information about the proportions of a specific type inside a group, and allows us to compare proportions among groups. Finally, the use of the percentage value is a required procedure which allow us to plan more sophisticated methods of quantification.

Keywords: pottery, quantification, EVE, CAD, 3D modelling.

1. INTRODUCCIÓN

En el campo de la investigación arqueológica, el uso de las Nuevas Tecnologías (en adelante, NNTT) se encuentra muy extendido. Esta situación se debe principalmente a todos sus beneficios técnicos que han hecho que procesos que antes se llevaban a cabo manualmente estén ahora automatizados. Del mismo modo, el uso de las NNTT ha permitido poner en práctica técnicas que hace un tiempo eran impensables o imposibles. Por lo que se refiere a la cerámica, la introducción de las aplicaciones informáticas en su estudio y análisis «ha permitido dar entrada en nuestra disciplina a técnicas más exactas y precisas a la hora de documentar, clasificar y analizar estos materiales» (Rísquez *et alii*, 2010: 548).

En este trabajo hemos tratado de integrar y adaptar métodos estadísticos y cuantitativos (como el «equivalente de vasija estimado» o EVE), a una serie de técnicas basadas en las NNTT como son los Sistemas de Información Geográfica (SIG), las herramientas de Diseño Asistido por Ordenador (CAD) y los modelados en 3 Dimensiones (3D). Como resultado, hemos creado el EVE 2.0 (Busto y Linares, 2013; Busto y Carrero, 2015) una metodología de investigación cerámica, que puede ayudarnos a planificar y resolver diferentes problemas arqueológicos.

Como sabemos, la gran mayoría de estudios cerámicos parten de una cuantificación que trata de darnos una imagen certera del repertorio utilizado en los distintos contextos. La problemática consiste en cómo realizar esa cuantificación que pueda llevar al investigador del «contexto arqueológico» al «contexto sistémico» (Schiffer, 1972). Es por ello que planteamos una reflexión, revisión y adaptación de los métodos empleados para tal fin con la utilización de las NNTT. El resultado de ello ha sido el EVE 2.0: un sistema de análisis cuantitativo que nos permite conocer a través de un fragmento de cerámica, el porcentaje que éste representa con respecto al total de la vasija de la cual formaba parte.

2. LA CUANTIFICACIÓN CERÁMICA EN ARQUEOLOGÍA

En toda excavación arqueológica los fragmentos cerámicos suelen ser los restos materiales cuantitativamente más frecuentes. Ya avisaba Covarrubias (Covarrubias *et alii*, 2006) a principios del XVII de lo siguiente: «los vasos y ollas de tierra y vedriado (sic) se quiebran de ordinario, y la plata y el cobre, aunque se abollen no se quiebran».

Este alto grado de fragmentación de las vasijas ha sido un problema para los investigadores, no encontrando un método que satisfaga todas las opiniones. En las últimas décadas los principales métodos de cuantificación han sido: el recuento de fragmentos, el peso de los fragmentos, el volumen/área de los fragmentos, el número de individuos representados (mínimo, máximo o estimado) y el «equivalente de vasija estimado o EVE» (Orton, 2009: 5). Todos ellos presentan múltiples ventajas, así como inconvenientes que pueden conducir a graves alteraciones en las cuantificaciones presentadas. En muchas ocasiones, la solución adoptada pasa por realizar un estudio cuantitativo combinado, que integre varias de las técnicas señaladas.

Desde los inicios de la Arqueología se llevaron a cabo cuantificaciones cerámicas que se basaban, en la mayor parte de los casos, en un conteo para tratar de obtener una serie de porcentajes. La cuantificación cerámica propiamente dicha, entró en juego en los años sesenta del siglo XX, pudiendo incluso hablarse de «revolución cuantitativa» (Abelleira, 2014: 154); en ella jugó un papel muy importante el desarrollo tecnológico. En los años setenta surgirán con gran fuerza obras que aún hoy son de obligada consulta para el investigador que trabaje en el mundo de la estadística, las matemáticas o las NNTT aplicadas a la Arqueología. Nos referimos a: *Mathematics and computers in Archaeology* (Doran y Hodson: 1975), *Spatial analysis in Archaeology* (Hodder y Orton: 1976) o *Mathematics in archaeology* (Orton: 1980).

El desarrollo de estos métodos y técnicas por parte de los arqueólogos procesuales supuso un salto cualitativo en nuestra disciplina (Abelleira, 2014). De este modo, con la cuantificación los arqueólogos «trataban de reducir al máximo posibles desviaciones que las cualificaciones tradicionales podían conducir y de hecho habían conducido» (Cerrillo y Fernández, 1989: 200). Al mismo tiempo, se produce una sustitución del análisis individual cualitativo y se acaba con esa especie de culto al objeto.

Pero... ¿Por qué contar los fragmentos? Una cuantificación de la cerámica es necesaria puesto que este material se ha convertido en una fuente casi inagotable de información. Aunque en los estudios actuales se esté derivando hacia caminos muy diferentes, parece claro que la cerámica nos otorga grandes evidencias sobre datación, comercio, función y estatus. Además, la cerámica tiene otra vertiente fundamental para la Arqueología, ya que: «puede ser una herramienta de interpretación tafonómica en la medida en la que permite establecer una serie de observaciones que resultan fundamentales a la hora de comprender los procesos de formación del registro arqueológico» (Escribano, 2010-2011: 111). Para tratar de decodificar este conocimiento, debemos servirnos de la cuantificación.

Obviamente, no podemos olvidar que enfrentarnos al estudio de un lote cerámico es difícil, dado que «la relación que existe entre la cerámicas del contexto arqueológico y la del contexto-momento no es directa y simple, sino indirecta y compleja» (Abelleira, 2014: 158). Por mucho que utilicemos la cuantificación ésta siempre se encontrará limitada por una serie de problemas teóricos (Cerrillo y Fernández, 1989; Abelleira, 2014). Aun así, creemos que la cuantificación, se muestra como una técnica necesaria y útil, porque

puede ayudarnos a abrir la *black-box*, es decir, ayudarnos a comprender estas complejas relaciones y ser clave en el conocimiento de nuestro contexto arqueológico².

3. SIG-CAD-3D Y EVE PARA LA CUANTIFICACIÓN CERÁMICA

En este trabajo planteamos la integración del SIG, el CAD y el 3D con el método de cuantificación denominado «equivalente de vasija estimado» o EVE. Como ya hemos adelantado de esta unión de las NNTT con la cuantificación cerámica, hemos obtenido una nueva técnica: el EVE 2.0.

El uso del SIG se está convirtiendo en un mecanismo clave para la cuantificación cerámica. A partir de su uso se consigue gestionar toda la información que se obtiene de cada fragmento cerámico y de cada yacimiento en el que se ha encontrado, pero además se puede ir mucho más allá. Así, mediante el uso de un SIG aplicado a la cuantificación cerámica podemos medir la distribución de las piezas dentro de determinadas escalas de dispersión y realizar asociaciones entre distribuciones. Del mismo modo, nos permite integrar los resultados de diferentes investigaciones, pudiendo hacer multitud de comparativas. Por otro lado, los avances tanto de los propios SIGs como de la Informática Gráfica hacen que podamos hablar de SIGs 3D, o sistemas capaces de manejar y analizar diversos elementos modelados (Feito y Segura, 2010: 87-88). Esta utilidad es clave a la hora de poder trabajar y realizar el EVE 2.0.

El uso del CAD se ha mostrado fundamental para la obtención del EVE 2.0, dado que nos permite la vectorización de nuestros dibujos. Una de las grandes ventajas es que los diseños están calibrados y a cada punto del área gráfica le corresponden unas coordenadas, lo que nos permite hacer los cálculos con medidas exactas. El uso de CAD se ha vuelto algo básico en la investigación arqueológica, puesto que la mayor parte de los diseños de plantas, alzados o repertorios materiales se realizan con estas herramientas desde hace años.

Por su parte, el modelado 3D es un técnica ampliamente utilizada en el ámbito del patrimonio, con una amplia gama de aplicaciones como son la documentación, la conservación, la restauración o la visualización (Rísquez *et alii*, 2010: 574; Estalayo, 2010). La elaboración de modelos 3D de cerámica arqueológica ya se realiza en nuestro país desde hace una década (Irujo y Prieto, 2005) y en este momento se sigue utilizando en proyectos como el CATA (Cerámica Arqueológica a Torno de Andalucía) no solo como mera representación, sino como medio comparativo y clasificatorio (Rísquez *et alii*, 2010). Por otro lado, la utilización del 3D como fuente para la cuantificación cerámica es una novedad, que viene a unirse a sus múltiples funciones.

2 Para una revisión exhaustiva de toda la bibliografía en torno a la cuantificación cerámica y a las nuevas perspectivas de estudio hasta el año 2010 conviene consultar Rísquez *et alii* (2010).

Nuestra metodología tiene como base fundamental el EVE. Para comprender esta técnica y conocer su evolución debemos retrotraernos a los años 70 del siglo pasado cuando B. J. Egloff (1973) ponía en marcha un nuevo método para la cuantificación cerámica, que define como:

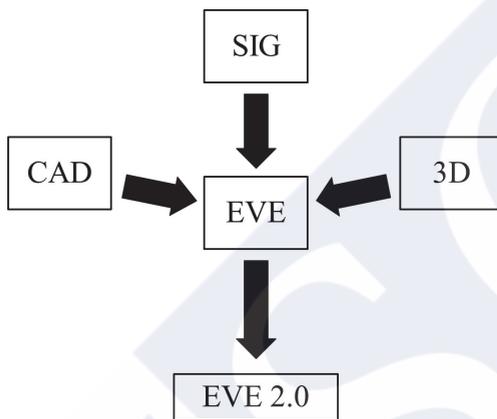
«A simple method for counting rim sherds uses the percentage of a vessel's orifice represented by each sherd. This technique can be used to estimate the minimum of vessels represented by the sherds in any specific category. (...) The technique is a development of the traditional system of measuring a vessel's orifice by a graded series of concentric arcs. By adding radii at intervals (in this instance 5% of the total circumference) it is possible to measure the fraction of the vessel's orifice represented by a single rim sherd».

Aunque se trataba de una práctica sencilla, la técnica de Egloff (1973), no alcanzó gran difusión. Será C. Orton quien, tomando su idea, cree el EVE y lo dote de un lenguaje estadístico y matemático pasando a hablar de «equivalente de vasija estimado» y no de número mínimo de individuos. En el libro *Mathematics in archaeology*, C. Orton (1980), con la intención de resolver los problemas de la cuantificación de la cerámica, enuncia la teoría del «vessel equivalent» (e.v.). Esta idea ya había sido planteada con anterioridad (Orton, 1975) aunque será en esta obra donde se desarrolle. Unos años más tarde, en *Pottery in archaeology*; C. Orton, P. Tyers y A. Vince (1993) profundizan en la explicación del «estimated vessel-equivalent» (EVE)³. En su opinión, este nuevo método era: «the only measure that is unbiased, both for measuring proportions within an assemblage and for comparing them between assemblages» (Orton, Tyers y Vince, 1993: 171; Orton and Hughes, 2013: 207). Los autores parten de la premisa de que «if one has one sherd, its vessel-equivalent is simply the proportion of the vessel that it constitutes» (Orton, 1980: 164) y, por esta razón, «every sherd is a certain proportion of the whole pot of which it once formed part» (Orton, Tyers and Vince, 1993: 21; Orton and Hughes, 2013: 22). Para estimar la proporción de vasija, los autores proponen medir el porcentaje que representa un fragmento de borde con respecto al diámetro del borde de la vasija completa, usando la plantilla de radios de borde (Egloff, 1973). El mismo procedimiento lo aplicarán sobre las bases (Orton y Hughes, 2013: 210). Los autores llegan a aseverar que «one can then let the rim stand representative of the whole pot and use this figure as the EVE» (Orton, Tyers y Vince, 1993: 172; Orton y Hughes, 2013: 210).

El EVE ha sido aceptado como método de cuantificación por una gran parte de la comunidad científica, sin embargo adolece de una serie de dificultades prácticas, que han llevado a muchos investigadores a descartar su uso. Se trata de una herramienta que presenta, al igual que el resto de los métodos cuantitativos, ciertos inconvenientes.

3 Recientemente se ha publicado una segunda edición de *Pottery in Archaeology* (Orton y Hughes, 2013), en la que se revisa la obra de los años noventa, aunque la formulación del EVE se mantiene tal y como estaba.

El fundamental es que se basa en fragmentos con una morfología muy determinada (bordes o bases), marginando una importante cantidad de material en el proceso de cuantificación. Tanto los bordes como las bases, aunque son fundamentales en el estudio de la cerámica, no representan a toda la pieza.



Tomando esta base teórica (revisada y adaptada) e integrando en su aplicación el uso del SIG, CAD y 3D hemos llegado al EVE 2.0 (Fig. 1). De este modo lo podemos definir como una técnica cuantitativa aplicada al estudio de conjuntos cerámicos. Dicha técnica nos permite conocer a través de un fragmento de cerámica cualquiera, el porcentaje de ese pedazo con respecto al total de la vasija de la cual formaba parte.

Figura 1. Esquema teórico de formulación del EVE 2.0.

4. POSIBLE PROTOCOLO TÉCNICO DE APLICACIÓN DEL EVE 2.0

Diseñamos ahora un protocolo técnico para la aplicación del EVE 2.0 (Fig. 2), puesto que en muchas ocasiones uno de los problemas de los métodos de cuantificación ha sido «la interpretación personal que se ha hecho sobre la forma concreta de llevar a cabo cada método» (Abelleira, 2014: 161). Daremos ahora una serie de pautas de aplicación, aunque éstas, necesariamente deberán adaptarse al lote objeto de estudio y a las preguntas que el investigador quiera responder.

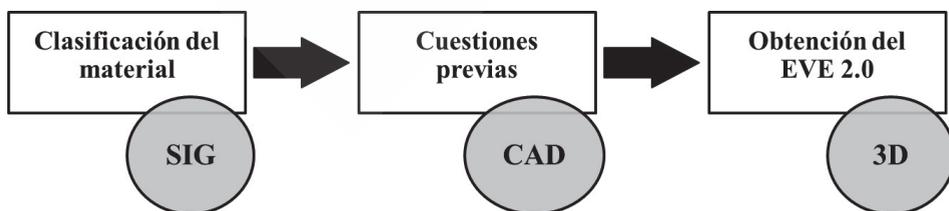


Figura 2. Las NNTT en el protocolo técnico de aplicación del EVE 2.0.

4.1. Criterios de clasificación del material: identificación de tipos

Lo habitual en el estudio de un lote cerámico es enfrentarnos a cientos o miles de fragmentos. Podemos hacerlo de múltiples formas y tomar diferentes enfoques. En nuestro caso para poder aplicar el EVE 2.0 de forma lógica y eficaz deberemos realizar un estudio tipológico de las cerámicas, tratando de reconstruir los recipientes, en la medida de lo posible, para intentar obtener el mayor número de perfiles. A la hora de hacer nuestra clasificación, hemos de intentar tomar las características generales de las piezas, es decir, aquellas que representan la norma. Así podremos observar las tendencias generales y comprender el conjunto cerámico estudiado. Cuanto más conozcamos la cerámica que tenemos que clasificar y estudiar, mayores serán las posibilidades de acierto en nuestra clasificación tipológica. Además, cuanto menor sea el grado de fragmentación de los individuos cerámicos, más posibilidades tendremos de poder reconstruir perfiles completos, fundamentales para la aplicación del EVE 2.0.

Diferentes estudios también han tomado el factor morfológico como primordial a la hora de establecer las tipologías, especialmente cuando se trata de gestionar, acceder y visualizar la información arqueológica (Rísquez *et alii*, 2010). Trabajos recientes han tenido en cuenta las curvas de los fragmentos para crear las tipologías y clasificarlos (Kampel y Sablatnig, 2004). En estos momentos también se están desarrollando otras formas muy sofisticadas de clasificación (Karasik y Smilansky 2008). Asimismo, existen diferentes trabajos que a partir de la curvatura externa del perfil de los recipientes permiten la búsqueda de un objeto en la base de datos (Schurmans *et alii*, 2001) o búsquedas que combinan la información de su forma con el color y la textura (Bishop y Tappert, 2005).

Lo que recomendamos, en este caso, es crear las tipologías en base a un conjunto de atributos específicos derivados de factores morfométricos, debido a que el EVE 2.0 parte de la forma de la pieza modelada en 3D, para poder cuantificarla. Las variables morfométricas más útiles para la aplicación con posterioridad del EVE 2.0 pueden ser las referentes a los diámetros (borde, base y diámetro máximo), la altura (del total de la pieza y la del diámetro máximo) toda una serie de grosores y, sobre todo, el peso.

Se debería estudiar el lote fragmento a fragmento, tomando nota de si nos encontramos ante una pieza completa, un perfil completo, un único fragmento o varios fragmentos de una misma pieza. Es importante que todos los fragmentos sean pesados y que los perfiles completos se dibujen, puesto que entorno a ellos se han de crear las diferentes tipologías. Si nos encontramos ante cerámicas ya estudiadas podemos y debemos tomar nuestras referencias tipológicas de las publicaciones precedentes. Nuestra finalidad será crear una colección cerámica que nos permita conectar el mayor número de fragmentos con los diferentes tipos que en ella se encuentren.

En esta fase podemos apoyarnos en la creación de bases de datos u hojas de cálculo gestionadas a través de un SIG, para poder llevar a cabo todo este proceso (Fig. 3). Esto nos permitirá tener acceso a toda la información de manera inmediata y trabajar con la totalidad del material procedente de diferentes intervenciones o yacimientos arqueológicos.

Una vez que hemos tomado todos los datos necesarios, podremos calcular el EVE 2.0 de un número variable de tipologías que dependerá de distintos factores, inherentes a todo estudio arqueológico.

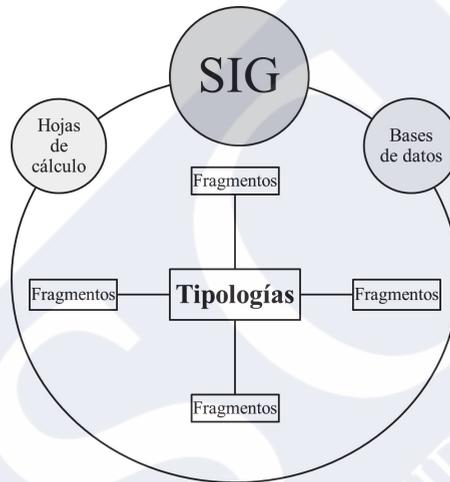


Figura 3. Gráfico de la clasificación del material para cálculo del EVE 2.0.

4.2. Cuestiones previas para aplicar el EVE 2.0

Para hacer comprensible el texto que detalla la obtención del EVE 2.0 hemos de explicar una serie de conceptos, para no llevarnos a equívocos y clarificar el desarrollo posterior del método (Fig. 4). El primer concepto es el de «sección de la pieza». Con este término nos referimos al corte perpendicular en la cerámica que va desde el borde hasta la base y que nos permite conocer los diferentes grosores y diámetros del perfil; lo llamaremos A y ocupa un espacio bidimensional. Utilizaremos A para obtener el 3D de la «pieza primigenia», es decir, aquella conservada íntegramente y que en algún momento existió; la llamaremos A' y se desarrolla en un espacio tridimensional.

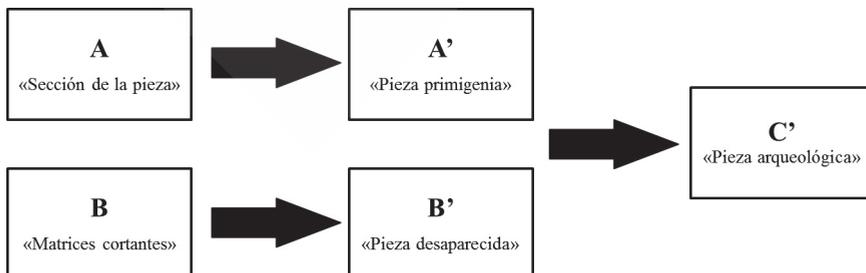


Figura 4. Conceptos básicos del EVE 2.0.

Por otro lado, está el término de «matrices cortantes», que son todos los cortes y roturas que posee nuestra pieza. Las matrices cortantes son bidimensionales y nos referiremos a ellas como B. Tomando B, podremos conseguir el modelo 3D de las fragmentos de la «pieza desaparecida», es decir, lo que no ha llegado hasta nosotros. Estas partes se desarrollan en un espacio tridimensional, que llamaremos B'. Utilizaremos A' y B' para elaborar la representación tridimensional de la «pieza arqueológica», es decir, el fragmento o grupo de fragmentos que se ha conservado y ha llegado hasta nosotros. Nos referiremos a este modelado 3D como C'.

Todos estos conceptos y entidades están relacionados y dependen entre sí. Nuestra teoría quedaría formulada de la siguiente manera: $C' = A' - B'$. En donde A' es la «pieza primigenia» a la cual se le sustrae B' o «pieza desaparecida», dando como resultado C' o «pieza arqueológica». C' es la única entidad de la que poseemos originariamente todos los datos, obtendremos el resto de valores a lo largo del proceso de aplicación del EVE 2.0.

4.3. Obtención del EVE 2.0

El proceso de trabajo y de obtención del EVE 2.0 conlleva una serie de pasos que han de realizarse en un orden muy preciso. Además, para ponerlo en marcha es necesario haber creado las tipologías cerámicas en base a los perfiles de las piezas y haber relacionado el mayor número de fragmentos posibles con esos tipos. Del mismo modo, se deben haber pesado todos los fragmentos, bien individualmente o por tipologías. El proceso de obtención del EVE 2.0, se divide en cuatro fases (Fig. 5).

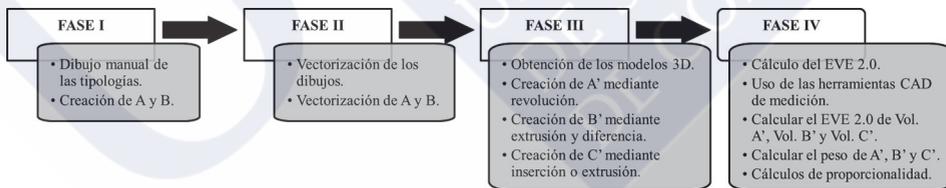


Figura 5. Fases para la obtención del EVE 2.0.

Fase I – Dibujo. En esta fase se dibujan todas las tipologías cerámicas que hemos creado o hemos identificado en algún estudio precedente y se encuentran representadas en nuestro lote (Fig. 6). Dibujaremos la «sección de las piezas» (A) y marcaremos todos los cortes y roturas que posee nuestro fragmento, señalando sus dimensiones reales y su posición, para elaborar lo que hemos llamado «matrices cortantes» (B).

La finalidad del dibujo cerámico es mostrar de una forma sencilla y esquemática la forma y el tamaño de la vasija que queremos representar. Este dibujo será la base fundamental de todo el trabajo posterior, por lo que de la exactitud que tengamos dependerán buena parte de los datos que obtengamos posteriormente.

Fase II – Vectorización. En este paso, para aplicar el EVE 2.0, entran en juego todas las herramientas de diseño asistido por ordenador, ya que debemos convertir los datos de nuestro dibujo en datos que podamos utilizar en un entorno virtual. Por lo tanto debemos vectorizar los dibujos para poder tratarlos con estas herramientas⁴.

Una vez que la imagen esté insertada y escalada, pasaremos a vectorizar el dibujo de nuestra cerámica en el área gráfica del CAD que hayamos elegido. La ventaja del CAD es que nuestros diseños estarán calibrados a través de coordenadas cartesianas absolutas. Estas coordenadas serán X e Y cuando trabajemos en un único plano y Z al pasar al 3D (Reyes Rodríguez, 2007: 34). Utilizaremos una serie de segmentos de línea o la entidad polilínea, dado que son objetos que pueden ser modificados con facilidad. En esta fase haremos la vectorización de los dibujos de A y B, de cada tipología (Fig. 6).

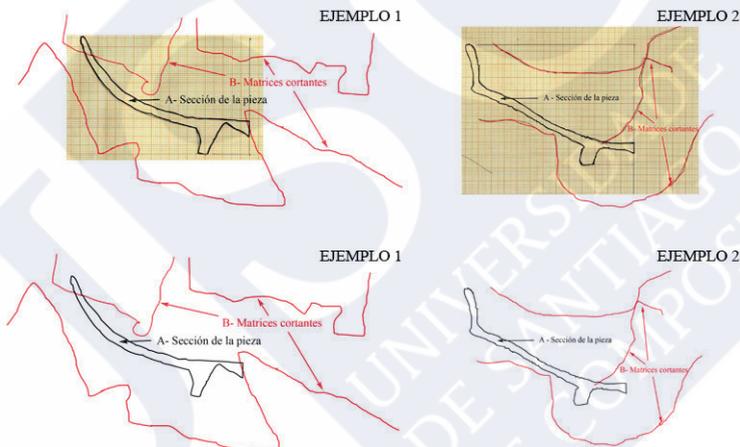


Figura 6. Fases I y II realizadas en los Ejemplos 1 y 2.

Fase III – Obtención de los modelos 3D⁵. Hasta este momento, hemos conseguido obtener A y B. Ahora debemos elaborar A' y B' para calcular C'. Crearemos A' mediante la revolución de A, es decir, obtendremos una superficie o sólido de revolución sometiendo a rotación el perfil de la tipología cerámica alrededor del eje central de la misma (Fig. 7-8). Por otro lado, para obtener B', construiremos una serie de objetos en

4 Entre las herramientas de diseño asistido que podemos utilizar para obtener el EVE 2.0 cabe destacar *lignumCAD*, *BlenderCAD* o *AutoCAD* para el dibujo vectorial bidimensional. Para realizar el modelado 3D podríamos utilizar *3D Studio Max*, *Blender*, *Maya*, *Lightware*, *Z.Brush* o *AutoCAD-3D*.

5 A partir del modelado 3D de cada tipología podemos extraer diferentes secciones o perfiles y realizar mediciones de manera automática. Aunque, en la actualidad un buen número de herramientas de diseño asistido pueden realizar estas funciones, podemos destacar por su vertiente más ligada a la Arqueología el *Profile Analysis Tool* (Lettner *et alii*, 2006).

3D a partir de B. Para ello, utilizaremos la extrusión, mediante la cual obtendremos varios sólidos en 3D con las mismas secciones que las ofrecidas en la matriz (Fig. 7-8).

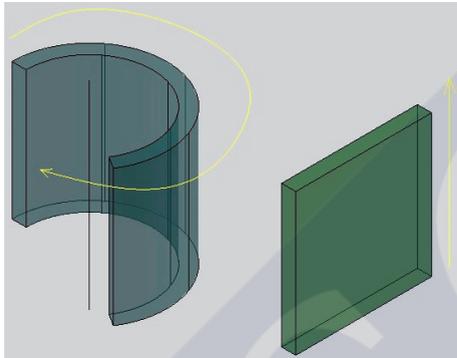


Figura 7. Revolución (izquierda) y extrusión (derecha) de dos objetos mediante el uso de herramientas CAD.

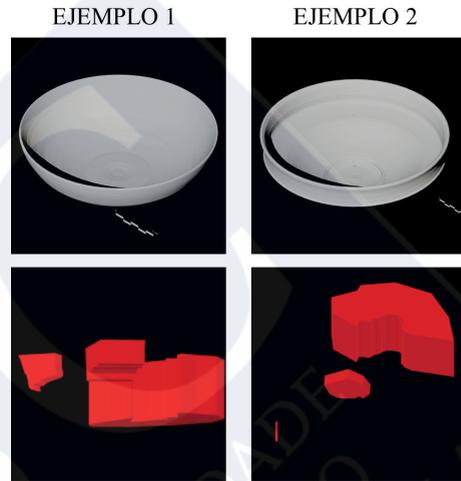


Figura 8. Obtención de A' mediante revolución (parte superior) y 3Ds de matrices cortantes mediante extrusión (parte inferior).

Ahora debemos recurrir al álgebra booleana, una teoría matemática que se aplica en la lógica combinatoria, para extraer B' . Las operaciones booleanas son posibles a través de los operadores binarios negación, suma y multiplicación. Dichas operaciones se han convertido en usuales en la construcción de geometría en 3D para la definición de sólidos (Gijón, 2006: 12-21), sobre todo las operaciones booleanas básicas de unión, diferencia e intersección (Fig. 9.). En la elaboración de B' recurriremos a la operación diferencia, para sustraerle los 3Ds de las matrices cortantes a A' (Fig.10.). Esta operación nos dará como resultado otro objeto (B') con todos los puntos del primero (A'), menos lo que ocupaba el segundo (3D de las matrices cortantes).

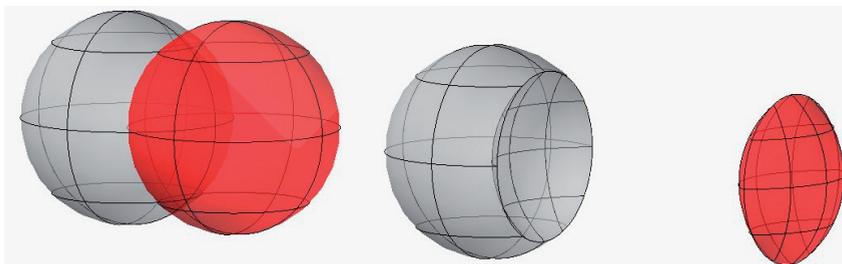


Figura 9. Operaciones booleanas de unión (izquierda), diferencia (centro) e intersección (derecha).

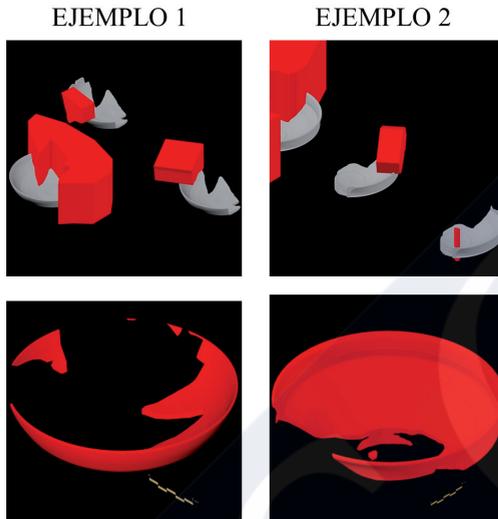


Figura 10. Obtención de B' (parte inferior) mediante la sustracción a A' de las matrices cortantes (parte superior).

En suma, hasta este momento del proceso hemos realizado A' y B'. Por consiguiente, estamos en grado de obtener C', dado que $C' = A' - B'$. Para ello, recurriremos de nuevo al álgebra booleana, pero en este caso nos serviremos de la operación intersección. Al realizar la intersección de dos objetos, en este caso A' y B', obtendremos un 3D (C'), formado por los elementos que son interiores a los dos objetos que se han usado en la operación (Reyes, 2007: 351). Estamos, por tanto, ante un sólido 3D que reproduce el volumen del objeto real (C').

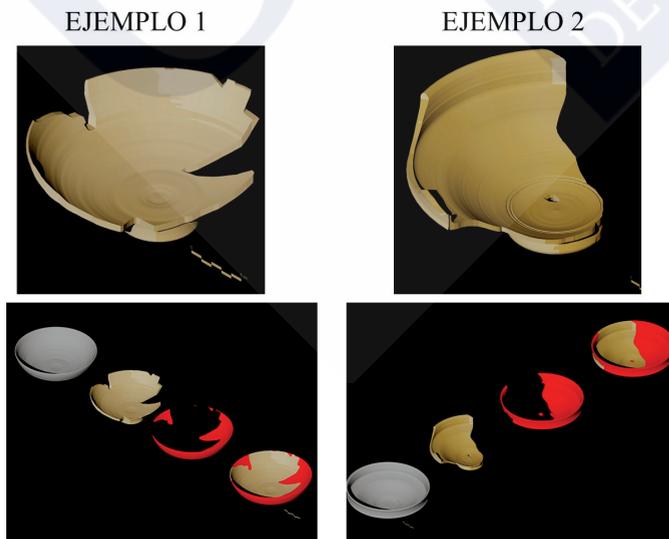


Figura 11. Obtención de C' (parte superior) y resumen de todo el proceso (parte inferior).

Fase IV – Cálculo del EVE 2.0. Con la vectorización de los dibujos, la realización del modelado 3D y el uso del álgebra booleana aplicada a la construcción geométrica hemos sido capaces de obtener A', B' y C'. En este momento tenemos los datos suficientes como para calcular el EVE 2.0 de todas las tipologías cerámicas recreadas en 3D. Esto es así debido a que hemos recreado esos objetos, incluso los no existentes (A' y B') en un espacio 3D determinado. En consecuencia, podemos conocer el volumen y la masa de todos ellos y calcular el EVE 2.0 o porcentaje de pieza que tenemos con respecto a la totalidad. De este modo, el CAD nos permite conocer datos técnicos referentes a la pieza tridimensional que hayamos seleccionado, dado que tiene una serie de propiedades de región, inherentes a sus características de pieza sólida tridimensional⁶. Por lo tanto, con esta simple opción, el CAD nos da los datos del volumen de A' (Vol. A'), B' (Vol. B') y C' (Vol. C')⁷.

Ahora pasaremos a calcular el EVE 2.0 de estos valores que tienen magnitudes directamente proporcionales, puesto que entre ellas se establece una relación de linealidad. Se trata de un problema vinculado a la proporcionalidad entre tres valores que se conocen y un cuarto que es una incógnita, es decir, necesitamos conocer el valor del cuarto término de una proporción a partir de los valores de los otros términos. Nos serviremos de una formulación sencilla y útil como la regla de tres simple, pues es aquella que permite establecer el vínculo de proporcionalidad entre dos términos que se conocen y, a partir del conocimiento de un tercer término, calcular el valor del cuarto.

En consecuencia, dado que conocemos el Vol. A' y el Vol. B' a través del CAD y, podemos deducir que el EVE 2.0 del Vol. A' es el 100%, puesto que es la «pieza primigenia», debemos calcular el valor del EVE 2.0 del Vol. B' (Fig. 12). Aplicaremos el mismo procedimiento para obtener el EVE 2.0 del Vol. C' (Fig. 13). La formulación es la siguiente:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Vol. A'} \longrightarrow 100\% \text{ EVE 2.0} \\ \text{Vol. B'} \longrightarrow X\% \text{ EVE 2.0} \end{array} \right\} X = \frac{\text{Vol. B'} \cdot 100}{\text{Vol. A'}} = \% \text{ EVE 2.0 Vol. B'}$$

Figura 12. Fórmula para calcular el EVE 2.0 del Vol. B'.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Vol. A'} \longrightarrow 100\% \text{ EVE 2.0} \\ \text{Vol. C'} \longrightarrow X\% \text{ EVE 2.0} \end{array} \right\} X = \frac{\text{Vol. C'} \cdot 100}{\text{Vol. A'}} = \% \text{ EVE 2.0 Vol. C'}$$

Figura 13. Fórmula para calcular el EVE 2.0 del Vol. C'.

- 6 Por ejemplo el *AutoCAD* nos muestra las siguientes propiedades físicas de región: masa, volumen, caja de abarque o cuadro delimitador, centro de gravedad, tres momentos de inercia principales, tres productos de inercia principales, radios de giros principales y tres momentos principales alrededor del centro de gravedad (Reyes, 2007: 157).
- 7 Si el CAD en el que hemos realizado las vectorizaciones y el modelado 3D de A', B' y C' no nos proporciona el volumen de estos objetos, existen otras opciones. Podemos utilizar las diferentes fórmulas matemáticas o las hojas de cálculos, adaptadas o creadas por A. Ramos (2010), para conocer la capacidad interior, y el volumen de arcilla utilizado en la fabricación de recipientes cerámicos.

En este momento hemos podido calcular el EVE 2.0 de Vol. A', Vol. B' y Vol. C', pero además el EVE 2.0 tiene otra aplicación fundamental para facilitar la cuantificación veloz del material cerámico. Si conocemos el peso de los fragmentos con los que hemos trabajado, podremos llegar a inferir el peso aproximado que tendría la pieza que en algún momento existió. Debido a la proporcionalidad de estas magnitudes y aplicando la misma formulación anterior, puesto que hemos hallado el EVE 2.0 del Vol. C' y del Vol. A' y, dado que sabemos el peso (P) de C', ya que es la «pieza arqueológica», podemos calcular el P de A' (Fig. 14). Siguiendo el mismo proceso obtendremos el P de B' (Fig. 15). La formulación es la siguiente:

$$\left. \begin{array}{l} \text{EVE 2.0 Vol. C}' \rightarrow P \text{ de C}' \\ \text{EVE 2.0 Vol. A}' \rightarrow X P \text{ de A}' \end{array} \right\} X = \frac{100 \cdot P \text{ de C}'}{\text{EVE 2.0 Vol. C}'} = P \text{ de A}'$$

Figura 14. Fórmula para calcular el P de A'.

$$\left. \begin{array}{l} \text{EVE 2.0 Vol. C}' \rightarrow P \text{ de C}' \\ \text{EVE 2.0 Vol. B}' \rightarrow X P \text{ de B}' \end{array} \right\} X = \frac{\text{EVE 2.0 Vol. B}' \cdot P \text{ de C}'}{\text{EVE 2.0 Vol. C}'} = P \text{ de B}'$$

Figura 15. Fórmula para calcular el P de B'.

A lo largo del proceso de aplicación del EVE 2.0 hemos conseguido conocer el porcentaje que un fragmento de cerámica representa, con respecto al total de la vasija de la cual formaba parte a partir de su representación tridimensional y de las relaciones de proporcionalidad que existen entre cada una de sus partes. Por lo tanto, hemos obtenido un índice de «equivalentes de vasija estimado». Por otro lado, hemos podido inferir el peso total de un ejemplar completo de determinada tipología (Fig. 16). Como consecuencia podemos llevar a cabo una estimación del número mínimo de individuos, mediante el peso de los fragmentos de dicha tipología que componen nuestro lote.

Nuestro estudio se verá potenciado si creamos, con los datos obtenidos, un entorno virtual en donde almacenar todos los modelos 3D y toda la información conseguida a lo largo del proceso. Este entorno debería permitir la búsqueda, la consulta y el análisis, por lo que convendría que estuviese gestionado por un Sistema de Información Geográfica. Dicha colección tipológica ha de servirnos como referencia para llevar a cabo el estudio de todos los fragmentos y su clasificación.

VOLUMEN EN CAD		
3DS	Ejemplo 1	Ejemplo 2
A'	209.1399	452.5903
B'	90.2322	253.1203
C'	118.9077	199.4700
EVE 2.0		
3DS	Ejemplo 1	Ejemplo 2
A'	100%	100%
B'	43.14%	55.93%
C'	56.86%	44.07%
PESO		
3DS	Ejemplo 1	Ejemplo 2
A'	400.98g	812.34g
B'	172.98g	454.34g
C'	228g	358g

Figura 16. Datos obtenidos en el cálculo del EVE 2.0 para los ejemplos 1 y 2.

5. EL EVE 2.0

El EVE 2.0 debe ser incorporado y aplicado a un estudio cuando resulte de utilidad para alcanzar los objetivos planteados en la investigación y cuando el repertorio cerámico se muestre adecuado para ponerlo en marcha. Como todo sistema de análisis cuantitativo, también tiene una serie de limitaciones. El EVE 2.0 no es aplicable a todos los fragmentos en sus primeras fases de obtención. Se trata de una metodología restrictiva que al inicio necesita unas piezas muy concretas. Por otro lado, es fácilmente aplicable a cerámicas con alto índice de estandarización, demostrando en estos casos grandes utilidades cuantitativas (Busto, 2013). Del mismo modo, si podemos agrupar los fragmentos en torno a tipologías, con la obtención del peso del tipo que nos calcula el EVE 2.0, podríamos trabajar con casi todo el material, disminuyendo las restricciones iniciales.

Los datos que nos proporciona el EVE 2.0 son de carácter aproximativo, puesto que los modelados 3D, tal y como los hemos realizado, nos ofrecen unas características geométricas que muestran una perfección absoluta. Ninguna pieza cerámica es perfectamente regular y, por tanto, el resultado final depende de la zona elegida como punto de partida de la reconstrucción 3D. Así mismo, en este momento, resulta un método lento en alguna de sus fases. Estas limitaciones podrían subsanarse mediante el empleo de un láser escáner 3D o la fotogrametría (Busto y Carrero, 2015), que proporciona información de la pieza de manera más rápida, mucho más exacta y, además, permitiría aplicarlo a casi todo tipo de piezas (Esquivel *et alii*, 2008; Rubio *et alii*, 2011).

El EVE 2.0 introduce una serie de mejoras con respecto al EVE. La principal y básica es que no hemos tomado ni el borde ni la base como representantes de toda la vasija, sino que hemos hallado porcentajes de fragmentos con respecto a la totalidad de las piezas. El EVE, al basarse en unos elementos muy concretos, podría llegar a descartar la mitad del material cerámico (Fig. 17). En la excavación del Polinario (Granada) los bordes y las bases suman solo el 38,36% de todo el lote, en consecuencia mediante la aplicación del EVE desecharíamos más del 60% del material (Busto, 2013).

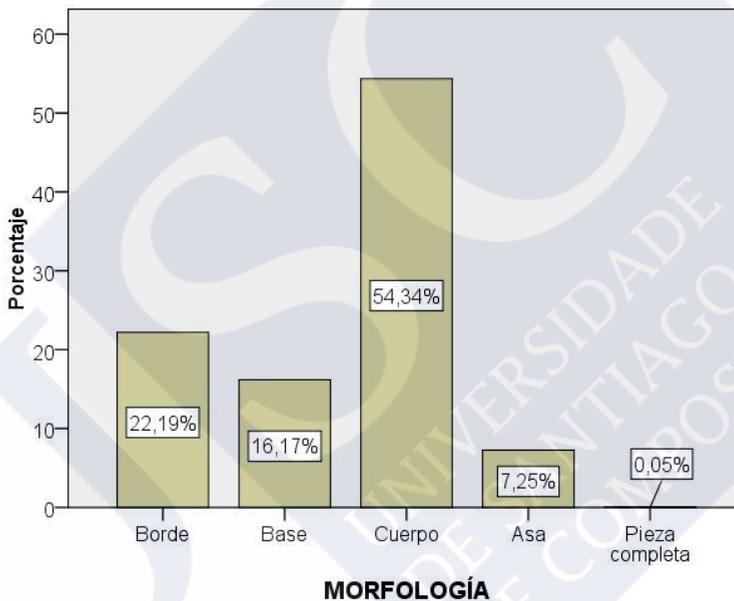


Figura 17. Morfología de los fragmentos analizados en la excavación del Polinario (Busto, 2013).

Con el EVE 2.0 se asigna a cada uno de los fragmentos un valor porcentual con respecto a una totalidad, independientemente de otros factores o variables que puedan alterar esta medida. Conseguimos por tanto relacionar esas unidades de análisis (o fragmentos cerámicos) con un artefacto básico o recipiente cerámico. El uso de un valor porcentual es un procedimiento necesario que permite poner en marcha métodos cuantitativos más sofisticados. Se puede estimar de una manera más precisa el número de piezas involucradas o utilizadas en determinado contexto y llegar a alcanzar una mayor comprensión, tanto del lote como de la sociedad que lo generó.

El EVE 2.0 resulta ser un método muy útil que puede utilizarse de forma individual o como complemento a otro tipo de cuantificación. El EVE 2.0, además de la obtención del porcentaje de pieza que poseemos, nos permite obtener el peso aproximado de un ejemplar completo de una tipología, aunque no exista ninguno en la actualidad. Por lo

tanto, además de técnica cuantitativa, nos proporciona datos hasta ahora desconocidos e inaccesibles. Dichos datos pueden tornarse como claves en el análisis tecnológico y productivo del repertorio cerámico. Además, el peso es un método de cuantificación que permite esquivar los problemas de distorsión derivados de otras metodologías cuantitativas.

Hemos apreciado esta gran utilidad del EVE 2.0 en los análisis de cerámica granadina que hemos llevado a cabo (Busto, 2013). En ellos observamos que una de las características que diferencian las producciones anteriores a la conquista castellana de Granada (1492), con las producciones que se dan inmediatamente después, es el aumento progresivo del peso de todas las tipologías (Busto, 2013: 64-78). Sin la aplicación del EVE 2.0 y la gestión de estos datos con un SIG, no nos habríamos percatado de este hecho que nos señala grandes cambios desde el punto de vista social, que tienen su reflejo en la producción cerámica (Fig. 18).

Tipología anterior a la conquista castellana

3D-A	3D-B	3D-C
Volumen en Autocad: 116437.0300	Volumen en Autocad: 94026.4320	Volumen en Autocad: 22410.598
Peso estimado: 474g	Peso estimado: 384g	Peso : 90g
E.V.E. 2.0: 100%	E.V.E. 2.0: 81%	E.V.E. 2.0: 19%

Tipología posterior a la conquista castellana

3D-A	3D-B	3D-C
Volumen en Autocad: 448361.5575	Volumen en Autocad: 184747.7446	Volumen en Autocad: 263613.8129
Peso estimado: 1398g	Peso estimado: 576g	Peso : 822g
E.V.E. 2.0: 100%	E.V.E. 2.0: 41.2%	E.V.E. 2.0: 58.8%

Figura 18. Comparativa de los datos obtenidos con el uso del EVE 2.0 (Busto, 2013).

Desde el punto de vista cuantitativo el EVE 2.0 es una medida imparcial capaz de obtener datos acerca de las proporciones de determinado tipo dentro de un conjunto y permite comparar las proporciones que obtengamos entre éste y otros grupos. Además el EVE 2.0 no se ve afectado por la fracturabilidad ni por la proporción de vasija completa, lo que nos otorga una cuantificación más precisa y más acorde con la realidad contextual.

7. CONCLUSIONES

La aplicación de métodos y técnicas estadísticas en nuestra disciplina ha supuesto un gran avance, que se ha acrecentado aún más en estos últimos años con la irrupción de las NNTT. El EVE 2.0 no utiliza el SIG, el CAD y la estadística como una simple cosmética para tratar de dotar a esta técnica de un aire de sofisticación tecnológica que en nada coincide con una finalidad histórico-arqueológica. El EVE 2.0 se vale de estas herramientas para tratar de leer o averiguar presuntos significados que no aparecen explícitos en el repertorio cerámico.

Debemos ser cuidadosos y no desviar el foco de nuestros estudios, saber que nuestro interés principal debe estar en los «conjuntos vivos» (lo que en algún momento existió) y no en los «conjuntos muertos» (lo que tenemos en nuestras manos), tal y como nos recuerda Orton (2009). En esta línea, la cerámica no solo aporta información del objeto, sino que también es «fundamental para realizar inferencias sobre el contexto arqueológico y el contexto-momento, sobre el registro arqueológico y la sociedad concreta que lo generó» (Abelleira, 2014: 157). La cuantificación del repertorio material cerámico nos otorga además grandes evidencias para resolver dudas respecto a las dataciones y cronologías. Es asimismo una fuente de información para conocer las formas de producción y de distribución de bienes en el pasado, junto con las rutas comerciales. Por otro lado, la cuantificación puede ser una herramienta útil para establecer la función de determinadas formas cerámicas y ayudar a conocer diferentes estatus sociales. Además, la cuantificación de estos fragmentos, es clave a la hora de poder interpretar de manera más certera un yacimiento arqueológico y sus diferentes funciones estructurales.

La cuantificación por lo tanto, es una poderosa herramienta que nos muestra muchas puertas o posibilidades, quizá el EVE 2.0, como técnica de cuantificación cerámica, pueda ser la llave de alguna de ellas.

BIBLIOGRAFÍA

- Abelleira Durán, M. (2014): “Origen, utilidad y límites teóricos de la cuantificación cerámica. Un aporte a la arqueología social latinoamericana”, *@rqueología y Territorio* (11), pp. 153-169.
- Bishop, G., y Tappert, C. (2005): “A Greek Pottery Shape and Scholar Classification System Using Image Retrieval Techniques”, *Proceedings of Student/Faculty Research Day CSIS*.
- Busto Zapico, M. (2013): *La Alhambra tras la conquista castellana. Una aproximación desde el análisis estadístico y morfométrico de los materiales cerámicos recuperados en la excavación arqueológica del antiguo restaurante de “El Polinario”*. Granada: Trabajo Fin de Máster. Inédito.
- Busto Zapico, M. (2014): “Una aproximación a las cerámicas recuperadas en la excavación arqueológica del restaurante de *El Polinario*”, *@rqueología y Territorio* (10), pp. 117-132.
- Busto Zapico, M., y Linares Losa, M. J. (2013): E.V.E. 2.0: “Una revisión y adaptación de un método para el estudio cerámico”, en VV.AA., *Actas del II Congreso Internacional sobre estudios cerámicos. Etnoarqueología y experimentación: Más allá de la analogía*. Granada: (en prensa).
- Busto-Zapico, M., y Carrero-Pazos, M. (2015): “3D Technology Applied to Quantification Studies of Pottery: EVE 2.0”, en VV.AA. *The 43rd Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology “KEEP THE REVOLUTION GOING”*, (en prensa).
- Cerrillo Martín de Cáceres, E., y Fernández Corrales, J. M. (1989): “Metodología y técnicas cuantitativas en Arqueología”, *Norba. Revista de geografía*, pp. 195-206.
- Chase, P.G. (1985): “Whole vessels and sherds: an experimental investigation of their quantitative relationships”, *Journal of Field Archaeology*, 12:2, pp. 213-218.
- Covarrubias, S., Arellano, I., y Zafra, R. (2006): *Tesoro de la lengua castellana o española*. Madrid: Iberoamericana.
- Doran, J. E., y Hodson, F. R. (1975): *Mathematics and Computers in Archaeology*, Edinburgh U.P.
- Egloff, B. J. (1973): “A method for counting ceramic rim sherds”, *American Antiquity*, pp. 351-353.
- Escribano Ruiz, S. (2010-2011): “La cerámica en los procesos de formación, percepción e interpretación del registro arqueológico. Sobre el tránsito del contexto arqueológico al sistémico”, *KREI*, pp. 109-118.
- Esquivel, J. A., Esquivel, F. J., y Alemán, I. (2008): “Análisis estadístico de los parámetros morfométricos de un vaso carenado utilizando un láser escaner 3D”, en G. Aranda Jiménez, (ed.), *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada* (18), pp. 357-370.
- Estalayo Moreno, M. (2010): “Reconstrucción y Restauración 3D de piezas cerámicas: las nuevas tecnologías a disposición de la investigación”, en VV.AA., *I Congreso*

- Internacional sobre estudios cerámicos. Homenaje a la Dra. Mercedes Vegas*, pp. 614-626.
- Feito Higuera, F. R., y Segura Sánchez, R. J. (2010). "Herramientas SIG 3D", *Virtual Archaeology Review*, pp. 87-91.
- Fletcher, W. y Heyworth, M.P. (1987): "The quantification of vessel fragments", en Gaffney, C.F. y Gaffney, V.L. (eds.), *Pragmatic Archaeology Theory in Crisis?*, BAR, British Series 167. Oxford: British Archaeological Reports, pp. 35-46.
- Gaffney, C.F. y Gaffney, V.L. (1987): *Pragmatic Archaeology Theory in Crisis?* BAR, British Series 167. Oxford: British Archaeological Reports.
- Gijón Cardos, I. (2006): *Sistema de Modelado Tridimensional basado en Trazos Libres: MOSKIS 3D*. Ciudad Real: Proyecto Fin de Carrera. Universidad de Castilla la Mancha, Escuela Superior de Informática. Inédito.
- Hodder, I. R., y Orton, C. (1976): *Spatial Analysis in Archaeology*, Cambridge U. P.
- Hulthén, B. (1974): "On choice of element for determination of quantity of pottery", *Norwegian Archaeology Review* 7, pp. 1-5.
- Irujo, D. J., y Prieto, M. P. (2005): "Aplicaciones del 3D en cerámica prehistórica de contextos arqueológicos gallegos: Un estudio sobre percepción visual", *ArqueoWeb*.
- Kampel, A., y Sablatnig, R. (2004): "3D puzzling of archaeological fragments", en VV.AA., *Proceedings of 9th Computer Vision Winter Workshop. Slovenian Pattern Recognition Society*, pp. 31-40.
- Karasik, A., y Smilansky, U. (2008): "3D scanning technology as a standard archaeological tool for pottery analysis: practice and theory", *Journal of Archaeological Science*, pp. 1148-1168.
- Lettnner, M., Mara, H., Müller, A., Sablatnig, R., Singer, M., y Krenn, M. (2006): "PAT Profile Analysis Tool for the Documentation of Archaeological Finds", en VV.AA., *Proceedings of the 1st EVA Vienna Conference*, pp. 83-90.
- Orton, C. (1980): *Mathematics in archaeology*. Cambridge: University of Cambridge.
- Orton, C. (1988): *Matemáticas para arqueólogos*. Madrid: Alianza Editorial.
- Orton, C. (2009): "Four pots good, two pots bad?: exploring the limits of quantification in the study of archaeological ceramics", *New Perspectives on Ancient Pottery Conference, University of Amsterdam*, pp. 1-10.
- Orton, C. y Hughes, M. (2013): *Pottery in Archaeology*. Second Edition. Cambridge: Cambridge University Press.
- Orton, C., Tyers, P. y Vince, A. (1993): *Pottery in Archaeology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Orton, C., Tyers, P., y Vince, A. (1997): *La cerámica en arqueología*. Barcelona: Crítica.
- Pennacchioni, M. (2004): *Metodologie e tecniche del disegno archeologico. Manuale per il disegno dei reperti archeologici*. Firenze: Arti grafiche.
- Ramos Gil, A. (2010): "Una aplicación de la hoja de cálculo en Arqueología: Método para conocer la capacidad interior, y el volumen de arcilla utilizado en la fabricación de recipientes cerámicos", en VV.AA., *I Congreso Internacional sobre estudios cerámicos. Homenaje a la Dra. Mercedes Vegas*, pp. 128-147.

- Reyes Rodríguez, A. M. (2007): *Manual Imprescindible de AutoCAD 2007*. Madrid: Anaya.
- Rísquez Cuenca, C. y Hornos, F. (1999): “Una propuesta de análisis integrado para conjuntos cerámicos”, en Capel, J. (ed.), *Arqueometría y arqueología*, Granada: Universidad de Granada, pp. 41-47.
- Rísquez Cuenca, C., Martínez Carrillo, A. L., y Ruiz Rodríguez, A. (2010): “Revisión y nuevas perspectivas en el estudio de las tipologías de cerámica arqueológica”, en VV.AA., *I Congreso Internacional sobre estudios cerámicos. Homenaje a la Dra. Mercedes Vegas*, pp. 547-586.
- Rubio, D., Martínez, J., Baena, J., Fernández, J.J. Y Finat, J. (2011): “Nuevos métodos para viejas tecnologías: análisis y documentación de los materiales arqueológicos mediante la aplicación de sistemas de Láser-scanner 3D”, en VV.AA., *I Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación, Arqueología 2.0*, Sevilla: Sociedad Española de Arqueología Virtual, pp. 345-349.
- Schiffer, M. B. (1972): “Archaeological context and systemic context”, *American Antiquity* (37), pp. 156-165.
- Schurmans, U., Razdan, A., Simon, A., Mc Cartney, P., Marzke, M., Van Alfen, D., y otros. (2001): “Advances in geometric modeling and feature extraction on pots, rocks and bones for representation and query via the internet”, en VV.AA., *Proceedings of the 28th Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*.
- 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* 8, pp. 135-158.