



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA

**MORFOMETRÍA MATRICIAL:**  
Puntos de contorno aplicado a  
tipologías cerámicas de terra sigillata.

TREBALL FINAL DE GRAU D'ARQUEOLOGIA

2016/2017

Rodrigo Donoso R.<sup>1</sup>

16355006

Tutor: Jaume Buxeda Garrigós

---

<sup>1</sup> rodrigodonoso@outlook.es

## DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mi familia, a mi madre y a mi padre, a todos quienes me apoyaron y me brindaron su ayuda, como también a los que no lo hicieron. Dedico este trabajo a todos los que cultivaron mi ser a lo largo de mi vida, desde mi niñez, a través de mi adolescencia y juventud. Así mismo, dedico estas líneas a todos aquellos que por alguna u otra razón se quedaron a medio camino de lograr sus sueños. A la vida misma, y a Dios quien me ha dado tanto de lo que tan poco he tomado.

*“La máquina la hace el hombre  
y es lo que el hombre hace con ella”*

J. Drexler

## RESUMEN

La investigación morfométrica ha sido uno de los ámbitos más desarrollados en biología. Desde sus comienzos, la biología ha utilizado técnicas para calcular la variabilidad de la forma entre individuos. Las formas culturales tienen un valor de dificultad añadido, ya que generalmente no existen puntos de simetría bilateral homólogos. El concepto de tipo también ha sido ampliamente discutido en arqueología; sin embargo, el flujo de relaciones entre formas culturales a lo largo de la historia, ha manifestado una dinámica evolutiva reticular a diferencia de la evolución biológica que describe una distribución ramificada. Los tipos de la misma especie biológica no se vuelven a mezclar con las formas de las cuales proceden. En este sentido, las formas, técnicas o acabados en la cultura material, pueden ser el resultado de influencias iterativas, sin un tronco común claramente definido. Por esta razón, las técnicas utilizadas aquí son un intento de encontrar relaciones cuantitativas útiles en el análisis de datos morfométricos de recipientes cerámicos.

## ABSTRACT

Morphometric research has been one of the most developed fields in biology. Since its inception, biology has used techniques to calculate the variability of form among individuals. Cultural forms have an added difficulty value, since there are generally no points of bilateral symmetry homologous. The concept of type has also been widely discussed in archeology; However, the flow of relationships between cultural forms throughout history has manifested a reticular evolutionary dynamic unlike biological evolution describing a branched distribution. The types of the same biological species are not re-mixed with the forms from which they originate. In this sense, the shapes, techniques or finishes in the material culture can be the result of iterative influences, without a clearly defined common trunk. For this reason, the techniques used here are an attempt to find useful quantitative relationships in the analysis of morphological data of ceramic vessels.

## INDICE

<b>ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS</b> .....	4
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	5
<b>CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b>	
1.1 Planteamiento del problema .....	6
1.2 Formulación del problema .....	8
1.3 Objetivos de la investigación .....	10
1.3.1 Objetivos generales .....	10
1.3.2 Objetivos específicos .....	11
1.4 Argumentación del estudio .....	12
1.5 Limitaciones de la investigación .....	13
 <b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Antecedentes del estudio .....	14
2.2 Bases teóricas .....	16
2.3 Definición de términos .....	17
2.4 Hipótesis .....	19
2.5 Variables .....	19
2.5.1 Definición conceptual de la variable .....	20
2.5.2 Definición operacional de las variables .....	20
2.5.3 Operacionalización de las variables .....	21
 <b>CAPITULO III: METODOLOGÍA</b>	
3.1 Tipo y nivel de investigación .....	22
3.2 Descripción del ámbito de la investigación .....	24

3.3 Población y muestra .....	25
3.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos .....	26
3.5 Validez y confiabilidad del instrumento .....	27
3.6 Plan de recolección .....	28
3.7 Procesamiento de datos .....	29
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS .....</b>	<b>31</b>
<b>CAPITULO V: DISCUSIÓN .....</b>	<b>33</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>34</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>35</b>
Revistas .....	39
Páginas Web .....	39
<b>ANEXOS .....</b>	<b>40</b>
1.- Tabla de volúmenes interiores .....	40
2.- Tabla de volúmenes de perfil .....	41
3.- Gráfico de área bajo la curva .....	42
4.- Gráfico de perfiles .....	42
5.- Gráfico tridimensional de objeto D73 en formato PLY .....	43
6.- Gráfico tridimensional de objeto D449 en formato PLY .....	43
7.- Gráfico comparativo de formas nativas .....	44
8.- Gráfico bidimensional de componentes principales (ACP) .....	44
9.- Gráfico de comparación visual .....	45
10.- Tabla de resultados finales .....	46
11.- Tabla de lista tipo .....	47

## INTRODUCCIÓN

En arqueología así como en otras ciencias, la acción de calcular es resultado de la necesidad cuantificar a partir de operaciones matemáticas con las cuales se obtiene el valor o la medida de algo en expresión numérica. En el caso del análisis cerámico, han existido variados intentos de clasificación numérica, con resultados mas bien limitados de aplicación. El objetivo profundo de la cuantificación, es obtener resultados de conductas, patrones o comportamientos, los cuales pueden ser identificados, cuando un proceso de transformación morfológico sigue una recursividad mas o menos definida en el tiempo y en el espacio.

Ciertamente dentro de la comunidad hispana, todavía algunos siguen considerando este tipo de trabajos con cierto escepticismo. Esta falta de confianza, viene dada del imaginario y el desconocimiento de cómo abordar este tipo de problemas. Este tipo de estudios tienden a ser de relativa complejidad en su aspecto más básico, pero no necesariamente extremadamente costosos si son abordados de manera óptima. No obstante, en la actualidad son la base de una transformación inminente relacionada con el cómo se han de entender los fenómenos arqueológicos derivados de la forma y su respectiva utilidad y función.

Estas ideas relacionadas con el análisis estadístico de las formas, se vienen desarrollando desde finales de la década de los ochenta, principalmente de la mano de autores como Bookstein (1991), quienes estrictamente orientados al ámbito de la biología, sientan las bases teóricas en la aplicación del método de *landmarks*. En la actualidad los avances tecnológicos y la informatización, están permitiendo concretar y sintetizar avances metodológicos que ya desde principios de siglo XX se estaban gestando en el seno de otras disciplinas, especialmente en el ámbito de la matemática, biología y física. Esta síntesis nos plantea un problema derivado acerca de ¿cómo debemos abordar y explicar los fenómenos arqueológicos?.

En este sentido, la Arqueología y la Historia son disciplinas que pueden ser explicadas mediante modelos matemáticos, puesto que las evidencias materiales, así como los fenómenos sociales, pueden expresarse en términos de ordenaciones. Estas ordenaciones se ven claramente representadas cuando los arqueólogos intentan determinar el tiempo transcurrido entre un hecho y otro. Es decir, la arqueología es una disciplina que inevitablemente responde a una ordenación calculable de los hechos históricos. De otro modo, la coherencia de la explicación arqueológica carecería de sentido, si esta por ejemplo no determinase una ordenación cronológica de los sucesos.

Si bien es cierto, las variaciones formales no derivarían de la sucesión en el tiempo, sino del significado contextual específico de un respectivo uso y/o utilidad. Para resolver este tipo de problemas, la ordenación permite organizar el trabajo obteniendo resultados más fiables. La matemática es un lenguaje artificial, el cual sirve para representar la realidad. Esta realidad puede ser representada en ordenaciones matriciales de los datos, los cuales permiten archivar, comparar, simular, así como reproducir datos de información espacial y topológica de objetos, y un amplio abanico de gestiones para la consulta de los mismos. Lo que trataremos a continuación es un método con el cual generar matrices de datos bidimensionales a partir de cerámicas ampliamente documentadas, principalmente de tipología Sigilata Hispánica.

## CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 Planteamiento del problema

Los sistemas de escaneo 3D ya son una herramienta relativamente asequible para los profesionales de la arqueología, sin embargo, entre los inconvenientes de esta herramienta destaca el requerimiento de una exhausta planificación de captura, además de conocimientos operativos altamente especializados en el campo del diseño y la programación. Así mismo, la planificación del procedimiento también podría necesitar de ciertas modificaciones debido a contingencias, como el espacio de trabajo, o la propia forma del objeto, entre otras (Mañana-Borrazás, Rodríguez Paz y Blanco-Rotea 2008: 30; Lamolda Álvarez y Cano Olivares 2009: 6-7; Olmo Enciso 2012: 93; Santagati 2014: 86).

La utilización de escáneres 3D en lo que respecta la captura de formas cerámicas, plantea otro problema añadido, relacionado con el mapeo del espacio interior de los tiestos cerámicos, así como la gestión espacial de los mismos, con debates acerca del punto de origen utilizado en el análisis. Este trabajo comprende los objetos como pequeños sistemas, con cualidades propias que ocupan un lugar en el espacio, que contienen impreso en su forma el flujo mecánico de energía cinética de manufactura. Esta energía a quedado implícita en el objeto, trazas de fabricación, uso, así como el proceso de degradación, son hechos susceptibles de ser cuantificados. Ahora bien, existen ventajas que probablemente solventan con creces los inconvenientes que conllevaría la utilización de sistemas de escaneo tridimensional. Entre estos inconvenientes por ejemplo, existe la dificultad para obtener datos precisos del interior de los tiestos.

El elevado precio de los modelos de escáneres 3D de más alta calidad, es lo que por ejemplo ha llevado a la fotogrametría ha ser el sustituto por excelencia. Sin embargo, este último método no resulta del todo exacto y las formas obtenidas no pueden ser representadas con total precisión, a lo que también escapa la posibilidad de comparar cuantitativamente los datos. El sistema fotogramétrico, es muy útil en ámbitos de divulgación, sin embargo, suele tener otro tipo de dificultades como la incidencia de la luz sobre el objeto a capturar, lo que puede llevar a fallos de interpretación de datos, provocando distorsiones métricas.

La gran cantidad de datos que recolecta el escaneo tridimensional puede entregar mayor agilidad en la captura de los mismos, no obstante, tampoco está exenta de errores, los cuales terminan por distorsionar la precisión de las observaciones si no se corrigen adecuadamente. En definitiva, la representación tridimensional de la forma no deja de ser cuanto más innecesaria, si dichas formas no pueden ser comparadas con otras. Es en este sentido, la real importancia de obtener datos cuantitativos, radica principalmente, en que por ejemplo, bidimensionalmente a partir de dos variables espaciales (X e Y) podemos obtener una aproximación de los atributos derivados del tamaño y la forma, también del volumen y ángulo de sus contornos. Es decir, no sería muy provechoso invertir altas sumas de dinero y tiempo en métodos de representación tridimensional, si no se almacenan simultáneamente aquellos datos métricos en estructuras matriciales, que posteriormente puedan ser tratadas y comparadas entre sí.

La problemática de este trabajo, radica en que dada la gran cantidad de representaciones cerámicas bidimensionales acumuladas a lo largo de todo el siglo XX, estas pueden ser reaprovechadas como fuente de cuantificación, y no solo como fuente de datos “blandos” (atributos cualitativos), sino como una mina de datos cuantitativos, extensibles a entornos tridimensionales que puedan aportar datos acerca de su funcionamiento.

Ahora bien, a partir del procedimiento de captura de puntos topológicos de un determinado contorno, es posible recrear la forma y trayectoria de las paredes interiores y exteriores de un conjunto de recipientes cerámicos, utilizando coordenadas cartesianas, con el objetivo de obtener formas de referencia para el posterior análisis de fragmentos. A respecto, el análisis puede ser por superposición de formas ejemplificadas en la trayectoria de sus funciones (interior y exterior), o bien, a través del análisis de posibles patrones correlacionales existentes entre las componentes obtenidas. Ahora bien la pregunta a resolver sería, ¿cómo podemos establecer dicha interpretación utilizando solo un conjunto finito de datos?

Convencionalmente en arqueología, la captura de la morfología de los artefactos se ha abordado tomando mediciones lineales en puntos concretos, utilizando líneas arbitrarias de simetría bilateral máxima, generalmente definidas como longitud. Tales mediciones lineales solo serían cantidades absolutas que reflejarían el tamaño, sin considerar la forma del artefacto (Barceló *et al.*, 2012: 6).

Ahora bien, según Antonio Barceló de la facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Autónoma de Barcelona, podríamos necesitar mecanismos sofisticados para analizar las formas arqueológicas en su más amplia complejidad. Per se, no sería recomendable reducir la forma simplemente a parámetros geométricos bidimensionales, puesto que esto no respondería igualmente al problemas de límites en tres dimensiones. Así mismo, los contornos de los objetos reales, tienen mas bien una apariencia de superficies que de curvas (Barceló, 2009: 218). Sin embargo, este trabajo es un intento por explorar un ámbito algo olvidado en el campo de la clasificación cerámica, en el cual se considera oportuno, el desarrollo prototipo de un programa estadístico para el análisis tipológico de cerámicas de simetría axial.

Por otra parte, la ingente información existente acerca de Sigilatas Hispánicas de Francoise Mayet, Ribera i Lacomba, entre otros trabajos, han podido ser reaprovechados para extraer principalmente modelos Draggendorf. Así mismo, una de las cuestiones directamente relacionadas con el método de comparación, es el punto de origen desde el cual se analizan dos formas concretas. Por ejemplo, en el análisis de formas líticas, este punto de origen es asignado arbitrariamente desde el exterior de la pieza, generalmente situando esta en el primer cuadrante cartesiano.

Otro de los problemas recurrente es el análisis y clasificación de las relaciones entre objetos, el cual depende de la elección de unidades base, ya que la forma o el tipo, es posible identificarlo como la suma de atributos o elementos formales predefinidos, los cuales son caracterizados por aquellos atributos específicos (Francovich y Manacorda, 2001: 61). En la actualidad este tipo de problemas es posible abordarlos sometiendo a entrenamiento las RNA (Redes Neuronales Artificiales), cuya aplicación en el campo de la Arqueología ha visto mayor utilidad en análisis espacial, también está mostrando gran aplicación en el ámbito del análisis morfométrico (Negre, 2014: 8).

## 1.2 Formulación del problema

El problema del tamaño y forma, se ha discutido ampliamente en la literatura. El presente trabajo no pretende ser una discusión acerca de esta cuestión, sino, una escueta aproximación respecto su aplicación estadística del problema. La Morfometría Clásica (MC) hasta la década de 1970, no permitía realizar representaciones de las variaciones entre formas, puesto que a través de este método no era posible conservar aquellas relaciones geométricas existentes (Van der Molen *et al.*, 2007: 6). Este último escollo limitaba las posibilidades de comparación, haciendo imposible la reconstrucción probabilística de las trayectorias de contorno entre artefactos tipo.

La ingente información fragmentaria e informe de elementos cerámicos, no nos permite determinar el número aproximado real de los individuos existentes en el contexto excavado. No obstante, a través de métodos cuantitativos y una base de datos considerable, sería posible aproximar fragmentos a través de alguna técnica de sistemas expertos o algoritmos genéticos, basados en la optimización probabilística.

Por otra parte, a pesar del tiempo transcurrido, una de las preguntas que debemos seguir reformulándonos en arqueología es ¿qué entendemos por artefacto tipo? Clarke (1968), en su obra *Analytical Archaeology*, abre la discusión a partir de la crítica realizada respecto a los inconvenientes de clasificar los tipos a partir de un “fósil director”. Si bien es cierto, el “fósil director” presenta algunos problemas para ser el candidato idóneo para el análisis evolutivo de formas en arqueología, ya que solo representa un hito temporal donde una forma determinada muestra tendencia a la estandarización. Así mismo, el “fósil director” debe cumplir al menos dos requisitos mínimos para ser verdaderamente útil; por una parte, manifestarse de manera abundante en un espacio estratigráfico muy reducido, mientras que por otra; estar extensamente representado en un amplio espacio geográfico.

Uno de los problemas de base entre el análisis de formas biológicas y formas culturales, es la naturaleza evolutiva de los mismos, este problema ya era planteado por David Clarke en 1968 acerca de las diferencias existentes entre la evolución natural y la evolución cultural. Esta última a diferencia de la primera, sería de características reticulares a diferencia de la evolución natural, la cual seguiría una ramificación única, sin posibilidad de que formas (especímenes) posteriores puedan volver a mezclarse con formas anteriores.

La utilización de landmarks es eficaz y muy conveniente en el análisis de formas biológicas, no así sucede lo mismo en el análisis de formas culturales, como por ejemplo la cerámica. Puesto que este tipo de formas, no sigue un patrón regular de evolución. Uno de los primeros escollos con los que nos encontraríamos al intentar realizar este tipo de estudios, es que desde el punto de vista topológico, la cerámica carece de puntos de referencia homólogos como lo es el caso de las formas biológicas de una misma especie o género, en los cuales los métodos basados en landmarks son muy eficaces. Un intento por solventar este tipo de problemas fueron las investigaciones realizadas en el ámbito de la Morfometría Geométrica (MG), que ha encontrado buena acogida en el ámbito de la biología y la antropología forense.



En este sentido, ¿cómo podemos identificar similitud de forma independientemente del tamaño si no contamos con puntos de referencia homólogos?. Por ejemplo, en el ámbito de la antropología forense, existe la problemática acerca de que ciertos criterios discriminantes no son eficientes para todos los casos, dado que las proporcionalidades entre unidades estructurales como lo son por ejemplo la longitud de tronco en relación con extremidades, suelen ser diferenciales según el origen étnico de la población. En el caso del análisis morfológico de los artefactos cerámicos estas diferencias serían tan abundantes como tipos existentes, ya que considerando la analogía antes expuesta, no existirían “especies” (categorías) definidos de tipologías cerámicas que cumplan un patrón definido e invariable de características.

En este sentido, las características serían un conjunto de variables que nos pueden entregar información acerca de la intencionalidad de uso, o la razón por la cual fueron fabricados. De una u otra manera, es el conjunto de estas características y no solo una, lo que debería ser determinante al momento de definir tipologías concretas. Considerando esto último, todos los artefactos tienen atributos, los cuales pueden ser definidos como variables, desde la composición del material, sus dimensiones y el tratamiento de la superficie. Estos atributos pueden tomar diferentes valores, dependiendo de los factores que afecten su estado (Richards y Ryan, 1985: 13).

Una herramienta eficaz en el almacenamiento de estos atributos, son las matrices de datos. Estos arreglos, permiten manipular grandes volúmenes de datos cuantitativos, con el objetivo de compararlos, almacenarlos, analizarlos e incluso simularlos. Es en este sentido, los datos cualitativos codificados, representarían los diferentes estados de una misma variable, como es en el caso de la decoración.

Generalmente el estilo decorativo tiende a cambiar con menor frecuencia, al contrario de los atributos funcionales de mayor valor utilitario (Fernández, 1989: 94). Entonces, ¿qué factores implicarían en esta dinámica?. Es sabido por la evidencia acumulada, que los tipos van desarrollando un cambio hacia formas más estandarizadas de uso. La variabilidad de los modelos cerámicos no dependería solamente de las distintas actividades llevadas a cabo en los diferentes espacios de uso, sino también del grado de especialización de los artefactos, y estos son dos factores que no siempre evolucionarían paralelamente (Cabanillas de la Torre, 2011).

En biología por ejemplo, es sabido que la extrema especialización de una especie (alimenticia, térmica, inmunológica, etc.), reduciría las probabilidades de supervivencia de esta, a cambios bruscos en el ambiente y/o medio (DAWNKINS, 1976). En este sentido, por ejemplo un artefacto poco especializado puede ser utilizado simultáneamente para muchos fines. Siguiendo esta línea, la pregunta sería ¿si la especialización de un artefacto disminuye su versatilidad a unos pocos usos eficaces, la generalización de los usos eficaces garantizaría la pervivencia de un determinado artefacto tipo?

Este tipo de preguntas aunque generalmente son desatendidas por parte de algunos arqueólogos, son importantes al momento de entender por que unas tipologías de artefactos y no otras, tuvieron mayor éxito en un espacio e intervalo de tiempo. Más allá de la respuesta y la discusión a respecto, lo importante es otorgar herramientas que nos permitan evaluar gran cantidad de información, para obtener resultados a partir de la integración masiva de datos, los cuales pueda ser ante todo contrastables.

### 1.3 Objetivos de la investigación

El objetivo de la investigación, es obtener una herramienta para la comparación de formas, el almacenamiento y la resultante creación de una base de datos morfométricos. En este sentido, los objetivos de este trabajo se pueden dividir en dos principales rangos de alcance:

- a) Ofrecer un procedimiento metodológico de análisis clasificatorio, que permita la retroalimentación versátil de la información.
- b) La integración de los datos a través de la creación de una herramienta estándar, que posibilite la gestión y consulta de los datos morfométricos.

Uno de los problemas de fondo de la clasificación arqueológica, ha sido precisamente la distinción entre *clasificación* y *tipología*. Por esta razón, entre los objetivos de este trabajo se encuentra por una parte la creación de un programa con el cual extraer datos relacionados con las características físicas del objeto, la comparación de dichos datos y el análisis de los mismos.

Ahora bien, el presente trabajo trata acerca de la *clasificación* cerámica y no acerca de la *tipología* de los mismos. En este sentido, el objetivo del presente trabajo, es el desarrollo de una herramienta versátil de clasificación y análisis, que pueda cimentar el trabajo tipológico, con resultados cuantitativos acerca de las formas tratadas.

Finalmente, este trabajo espera definir las pautas de cara a un procedimiento estándar que pueda integrar la información de diferentes escuelas, a una misma estructura de datos relacional, la cual integre datos cuantitativos, así como cualitativos del conjunto de variables. Estos datos relacionales deben ofrecer niveles de información, donde la cadena o trama de datos, pueda gestionar categorías paramétricas y no paramétricas.

#### 1.3.1 Objetivos generales

Entre los objetivos generales de este trabajo, se considera la creación de una librería en lenguaje R la cual permita obtener, comparar y analizar los datos cuantitativos, obtenidos a partir de los valores cartesianos bidimensionales estructurados en matrices de datos. El programa tiene como objetivo general, otorgar una herramienta con la cual el arqueólogo pueda realizar una minería de datos morfométricos, con la garantía de que pueda ser manipulado por cualquier arqueólogo con mínimos conocimientos en AutoCAD y Excel.

Así mismo, otro objetivo adicional, es la integración de dichos datos morfométricos no solo como una representación divulgativa de la realidad, sino una traducción coherente de la percepción sensorial a través de modelos explicativos (BARCELÓ Y VICENTE, 2011). Es decir, la ciber-arqueología implica una metodología y tratamiento de datos relacionales, los cuales puedan ser gestionados de acuerdo a las necesidades adscritas; sean por una parte de carácter científico analítico, o bien de carácter estético divulgativo.

### 1.3.2 Objetivos específicos

Este trabajo tiene como objetivo específico, el análisis de los “datos duros” obtenidos a través de un criterio metodológico de captura de puntos topológicos en dos dimensiones, asistido por software CAD.

Con los datos resultantes y siguiendo un procedimiento estándar, el objetivo específico es el análisis de los datos en dos niveles principales:

- a) Exploración de datos.
- b) Inferencia de resultados.

El objetivo inicial de este trabajo será la exploración de los datos, el alcance de la inferencia estará determinada por la naturaleza de los resultados. No obstante, cabe destacar que la puesta a prueba de hipótesis no es el objetivo principal de este estudio.

El objetivo específico de este método asistido por el programa escrito en lenguaje R es principalmente:

- a) Obtener un resumen de los datos, mediante la extracción de un conjunto sintético de nuevas variables.
- b) Encontrar patrones regulares si existen grupos de datos.
- c) Relacionar dos o mas conjuntos de variables.

Finalmente, el principal objetivo es la consecución de un cluster a partir de una matriz de distancias obtenida de cada conjunto de variables. Estas agrupaciones permiten establecer relaciones de proximidad entre características morfológicas, de las cuales es posible obtener valores de disimilitud, con los cuales establecer conjuntos.

Podemos estructurar el procedimiento de acuerdo al siguiente esquema:

1. Conjunto de N individuos organizados en una matriz de datos con n variables.
2. Establecimiento de criterio de similaridad o disimilaridad.
3. Algoritmo de clasificación con el cual determinar estructura de agrupación.
4. Estructura utilizada en la representación del dendrograma.

El análisis cluster consiste en generar conglomerados aglutinando unidades homogéneas, de tal manera que los individuos formen grupos de elementos, los cuales presenten un grado de homogeneidad basado en los valores del conjunto de variables. En este sentido, se pretende obtener conjuntos a partir de características estructurales latentes, explícita y directamente a través de las variables espaciales, o bien, a partir de las variables obtenidas de estas. Una vez establecida empíricamente la clasificación, se procederá a analizar los resultados con el objeto de comprobar la efectividad del método.

#### 1.4 Argumentación del estudio

Aún no muchos trabajos existen en España en los cuales se haya utilizado estructuras matriciales en el análisis morfométrico aplicado a formas cerámicas. Si bien es cierto, tradicionalmente la experiencia y la intuición del arqueólogo especializado, ha sido la manera de definir tipologías a partir de clasificaciones forzadas. Así mismo, el valor normativista de la mayoría de corpus tradicionales, probablemente quedará obsoleto en pocas décadas frente a la potencia que ofrecen las clasificaciones automáticas actualmente en pleno desarrollo.

Ahora bien, estos trabajos de clasificación tradicional se han llevado a cabo basándose en preconcepciones ad hoc, los cuales influenciados por la escuela de la que proceden, sesgan el trabajo arqueológico más bien al terreno de la justificación que al de la argumentación epistemológica. A respecto, este tipo de tradición tiene poco que ganar con la aplicación de los métodos automáticos de la estadística y la informática, puesto que la ingente información que aportan las excavaciones, casi siempre fragmentaria, dificulta y dificultará cada vez más la tarea de una clasificación. Sin embargo, cuando el objetivo es la clasificación de artefactos bien conservados, así como el interés por la comprobación y objetivación de la tarea intuitiva, este tipo de aplicaciones cuantitativas son de gran utilidad (Fernández, 2015: 144).

En este sentido, es posible reaprovechar dicha información, con el objetivo de desarrollar una base de datos matricial de formas cerámicas, la cual nos permita evaluar, así como preparar un trasvase codificado de información a una base de datos relacional, que pueda estar interconectada con otras a través de internet, la cual funcione solo con la introducción de datos cartesianos, estructurados en matrices de datos topológicos a partir de recipientes cerámicos.

Es ya un hecho comprobado en la disciplina arqueológica, que las propuestas de clasificación han sido tremendamente variadas a través de la historia de la arqueología. Sin embargo, pese a las discrepancias aún existentes, la gran mayoría de la comunidad, tiende a considerar las matemáticas y otras ciencias exactas, como medios confiables para la resolución de problemas arqueológicos. En este sentido, la estadística nos permitiría sintetizar la información acumulada con el fin de proporcionar una herramienta informática en materia de clasificación formal de artefactos cerámicos.

La utilización de este tipo de metodologías pretende dar avance en este campo, que probablemente tenga mucho que entregar a la disciplina en las próximas décadas. Una clasificación formalizada a través de la estadística y la representación de modelos topológicos morfo-evolutivos de los objetos arqueológicos, como anteriormente a sido expuesto; permite la comparación, representación, reconstrucción y simulación de los fenómenos asociados a dichos objetos y los fenómenos que los produjeron.

Por otra parte y no menos importante, desde hace mucho tiempo en la comunidad arqueológica nacional, se viene manifestando una falta de distinción entre los conceptos “clasificación” y “tipología”. En efecto, es importante aclarar que clasificación es ordenación de un grupo de elementos, mientras que “tipología” se define como el estudio de la ordenación de dichos elementos. En este sentido, es necesario el estudio acerca de nuevos procedimientos de clasificación como lo es la RNA en arqueología.

### 1.5 Limitaciones de la investigación

Este trabajo presenta algunas limitaciones por defecto, entre las que se pueden destacar dos principales aspectos; procedimental y técnico. En el aspecto técnico podemos nombrar las siguientes características:

- a) Calidad y resolución del escaneado de imágenes limitado por el modelo. Para el caso del presente trabajo se ha utilizado IriScan Book 3.
- b) Traspase de información manual, no automatizada.

Por otra parte, en el aspecto procedimental podemos definir:

- a) Captura manual de los datos, asistido por AutoCAD. Posteriormente es abierto en Excel para estructurar la trama de datos, que seguidamente son devueltos al archivo de texto. Procedimiento no automatizado.
- b) La captura de puntos depende de la distribución de los trazos realizados por el arqueólogo sobre el dibujo digitalizado. Aun no se ha probado la realización individual de un mismo dibujo por parte de al menos 10 arqueólogos, para obtener resultados de sesgos.

La operación del programa no es amistosa, carece de interfaz. Sin embargo, el tipo de programación no pretende ser de gran complejidad. Este puede llegar a ser comprendido rápidamente, así mismo, desde un punto de vista estadístico permite principalmente comparar conjuntos de formas cerámicas, donde la imagen solo se utiliza de manera sucinta, para explicar la trama de resultados obtenidos.

Existe un margen de error de acuerdo a la escala que se utilice, en este caso hemos escalado en base milimétrica. De esta manera, los resultados de volumen deben dividirse por 1000 para obtener en  $\text{cm}^3$ . Ahora bien, entre mas compleja es la forma, mas puntos interpolaremos utilizando curvas de Bézier. El cálculo estadístico se verá afectado por un margen de error o ruido, estrechamente relacionado con el número de individuos que analicemos.

Una de las preguntas es ¿cuántos puntos debemos tomar?. Considerando cuanto mas pequeñas son las rectas existirá un mayor índice de ruido, en este sentido y por defecto, la interpolación deberá tomar como referencia la muestra con menor y mayor número de filas para determinar cual es el número indicado para la estandarización de los puntos. De esta manera, la interpolación de puntos solo serviría para encontrar patrones de similitud suficientemente notorios.

Quizá este trabajo se extendería en demasía si analizáramos las series Fourier y de paso abordáramos la geometría de Riemann. No obstante, para la aplicación de estos análisis como el cálculo de áreas (ver anexo, Gráfico 3), son necesarios los datos que este trabajo aporta a partir de cálculos trigonométricos. Pese a todo este proyecto es replicable, es decir; se puede repetir las veces que sean necesario, mientras que la introducción de datos solo está limitada por la capacidad de la máquina en uso.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes del estudio

La *clasificación* es posible definirla como "la ordenación de los organismos en grupos o conjuntos sobre las bases de sus relaciones" (SNEATH y SOKAL, 1973: 3). Desde el ámbito de la biología, especialmente en la antropología forense, es posible encontrar variados trabajos de morfometría geométrica en territorio peninsular. No obstante, pocos son los trabajos que han intentado aplicar estos métodos a la clasificación cerámica, a diferencia de los intentos realizados en industria lítica, donde son limitadamente mas abundantes.

Es posible identificar la importancia de este tipo de líneas de investigación cuantitativa, desde la bibliografía básica (Jorge Juan Eiroa *et al*, 1999) cuando se advierte acerca de la necesaria atención que merecen metodologías y propuestas que han intentado elaborar criterios universales de descripción, orientadas hacia sistemas de evaluación sistemática de parámetros métricos y geométricos (dimensiones, volúmenes y líneas) "(...) *Se trata de sistematizaciones que, desde el punto de vista metodológico, nacen en el contexto del auge de las listas-tipo elaboradas para otras actividades humanas, como lo es el caso de la industria lítica tallada, pero que en el terreno de la cerámica dan lugar a clasificaciones de enorme complejidad*" (Jorge Juan Eiroa *et al*, 1999: 193).

No obstante, las listas-tipo (ver anexo, Tabla 11) utilizadas en prehistoria no son muy afines a los métodos mas sofisticados. Actualmente, el concepto estaría relacionado con la definición de "lista enlazada", las cuales son estructuras de datos semejantes a los arrays (arreglos), sin embargo, el acceso a los elementos de la lista no se haría mediante un índice sino mediante un puntero. En este sentido, la estructuración de una base de datos morfométrica afín a las líneas de investigación mas sofisticadas, estarían más próximas a la informática, la ingeniería inversa y a los procedimientos de optimización, que a la propia metodología de la arqueología tradicional.

Entre los trabajos hispanos que intentaban seguir una línea similar a la que se plantea en este trabajo, fue la Tesis doctoral de M. Molinos acerca de Puente Tablas (RUIZ y MOLINOS, 1988) la cual marcó un paso adelante desde la aplicación de coeficientes de correlación, test de t de Student, a la estadística multivariable de análisis discriminante. Posteriormente se habría modificado la metodología sustituyendo los grados angulares por distancias, con el fin de homogenizar el total de las variables (RÍSQUEZ *et al*, 1991).

Entre los teóricos más destacados en el ámbito de la computación aplicada a la arqueología, ha sido J. A. Barceló, quien expone claramente el estado de la cuestión, así como las ventajas y desventajas de la aplicación de los métodos utilizados hasta la actualidad (BARCELÓ, 2009). Un ejemplo de ello fue en el último cuarto de siglo XX cuando ya se habrían iniciado algunas investigaciones a respecto (Orton, 1980), los algoritmos genéticos y redes neuronales artificiales van encontrando aplicación en el problema arqueológico.

La ruta hacia la cuantificación de los datos, surge motivado por el deseo de reducir la carga subjetiva del investigador, sin embargo, Shennan (1988) cuando habla de “Revolución Cuantitativa”, advierte que esta se materializó con el objetivo de desligar la arqueología de su imagen tradicional.

Existen ya desde la década de 1980 trabajos como los de Estéves y Lull (1984), el cual pretendía cambiar el panorama de la arqueología peninsular, exponiendo un método basado en estadística simple, parecido al que se utiliza en Biometría. Considerando los siguientes puntos Esteves y Lull establecieron las comparaciones entre medidas y proporciones de formas (ESTÉVEZ y LULL, 1984: pp. 237 – 238):

- a) Aislar variables consideradas definitorias.
- b) Construcción histogramas de cada variable para la observación de tendencias.
- c) Cálculo de la media de la media.
- d) Cálculo de coeficiente de variabilidad obtenido de la desviación estándar.
- e) Establecimiento de relaciones entre variables utilizando índices y coeficientes de relación entre dos variables.

A mediados de la década de 1980, es posible encontrar los trabajos de Contreras donde explica el significado de la Taxonomía Numérica y los métodos tipológicos dónde diferencia entre los enfoques (CONTRERAS, 1984).

- a) Tradicional, basado en el carácter intuitivo en la elección de tipos.
- b) Atributual, basado en el análisis de atributos.
- c) Agrupamiento de ítems, basado en métodos matemáticos multivariados.

Gilboa *et al* (2004) plantea aspectos fundamentales en el análisis cuantitativo de formas cerámicas utilizados en este trabajo, además destaca trabajos como los de Liming *et al* (1989) quien habría planteado la forma proporcionando la distancia de los puntos del perfil respecto al eje de revolución en función de la longitud del arco. Este método estaría relacionado con uno anterior llamado “perfil tangente” y este a su vez con el desarrollo de la técnica de “perfil tangente muestreado”. En este último, las curvas se describen proporcionando la tangente en función de la longitud del arco, afín al procedimiento que utiliza Gilboa *et al* (2004: 682), a sido uno de los planteamientos iniciales para este trabajo. También destaca los estudios de Gero y Mazzulo (1984) quienes usaron series de Fourier para describir artefactos arqueológicos, pero Gilboa (2004) advierte que dicho método, difícilmente puede ser aplicado al análisis de tiestos de cerámica.

Actualmente los trabajos realizados por Robert Selden *et al* (2015), son de gran utilidad por la calidad de sus resultados en el análisis morfométrico 3D, los cuales demuestran el potencial de las propuestas analíticas en las discusiones sobre la resolución temporal y la organización tecnológica, así como la documentación y el análisis morfométrico y taxonómico de los tiestos cerámicos (ver anexo, Gráfico 5).

## 2.2 Bases teóricas

Con anterioridad Ericson y Stickel, ya habrían sugerido la descomposición de formas relativamente complejas en un conjunto de formas geoméricamente simples (Orton, 1988: 42). La cuestión puede llegar a ser un debate de cuales han de ser los criterios más óptimos según el problema. No obstante, si bien es cierto, en la actualidad existen artículos que apuntan en la dirección del presente trabajo. Un ejemplo de ello son los trabajos de (GILBOA *et al*, 2004; KARASIK y SMILANSKYA, 2011), en donde se habla de las características de las variables extraídas, así como se han de tratar las mismas.

Ya desde la década de 1970, Shennan y Wilcock, también se habrían aventurado por esta línea utilizando un método denominado “rodajas” (*sliced*) y “mosaico” (*mosaic*). Aunque Wilcock diseña un sistema de codificación hexagesimal, no queda del todo claro como se han de interpretar los resultados (Wilcock, J. D., Shennan, S. J.: 1969). Según Orton (1980) ambos métodos pueden ser utilizados eficazmente para la descripción formal de una vasija de aparente simetría circular, no obstante, aunque utilizando dichas “rodajas” el grado de precisión puede llegar a ser relativo, elementos asimétricos como picos, pies o asas, pueden llegar a causar algunos problemas.

El origen de la morfometría ha estado siempre ligado al ámbito de la biología, donde a encontrado una mayor variedad de aplicaciones en las últimas décadas. Bookstein (1991) distinguió tres tipos de *Landmarks*, por una parte, aquellos de tipo I biológicamente homólogos, los de tipo II en que cuya homología estriba en la evidencia geométrica pero no histológica, y los de tipo III los cuales poseen al menos una coordenada ambigua.

Otra ventaja de las representaciones numéricas de perfiles, sería la capacidad de calcular la media de varios artefactos (Gilboa *et al.*, 2004). Este cálculo se obtendría promediando las funciones de representación: curvatura, tangentes o radio. Pese a que este valor promedio es solo virtual, sería una representación auténtica de las características comunes de los recipientes que pertenecen al grupo (Karasik y Smilansky, 2011: 2646).

Los trabajos de ESQUIVEL y CONTRERAS (1984) ya planteaban la asociación del análisis Cluster con el análisis de Componentes Principales. Posteriormente, CONTRERAS *et al* (1988) aplicaron estos análisis a otros campos, como es el de la analítica cerámica.

En la bibliografía anglo-sajona ya es posible observar trabajos desde finales de la década de 1980. Hugo Benítez y Pürchel (2014) destaca trabajos posteriores como los de Bookstein (1991) sobre la historia y desarrollo de las técnicas, Goodall (1991) referente a la metodología Procusto, Small (1996) con respecto a la noción y tipos de espacio de forma, Dryden & Mardia (1998) acerca de la estadística aplicada al estudio de la forma, etc. En la actualidad existen variados trabajos al respecto, aunque no demasiado abundantes, estos apuntan en la dirección del presente trabajo. Así mismo y pese a que el contenido que subyace a este tipo de metodologías es bastante elaborado, se ha considerado oportuno diseñar un procedimiento sencillo, integrando funciones previamente programadas para la automatización de tareas de calculo y estructuración de datos.



### 2.3 Definición de términos

La inteligibilidad de este trabajo, depende sustancialmente de la clara definición de los términos y conceptos utilizados en el desarrollo de este estudio. Los puntos de vistas empleados en este último, van desde la geometría analítica, la estadística, la arqueología, así como la matemática, la ingeniería, la informática y el diseño.

En lo que respecta a este método de obtención de datos morfométricos, la interpolación sería la manera de generar una función espectral, con la cual evaluar los umbrales morfológicos de los conjuntos clasificatorios, no obstante, bajo la limitación de solo poder superponer dichas formas de contorno. Necesario sería preguntarse ¿cuál es el criterio de análisis más eficaz respecto la relación forma-tamaño en dos dimensiones?.

Las curvas Bezier, obtenidas a través del algoritmo de Casteljaou, es un método recursivo del análisis numérico para calcular polinomios (Bernstein o base de Bernstein). Este nos permite reasignar puntos a través de la interpolación, con el objetivo de igualar el número de filas de la matriz, para luego realizar comparaciones entre diferentes UA (unidades de análisis). Así mismo, existen otras formas de abordar el problema, como el estudio de las series de Fourier, que implican derivación e integración en los cálculos. Estos sirven para obtener la curva logarítmica de una función periódica o continua. Sin embargo, en el presente trabajo utilizaremos curvas Bezier, ad hoc a la utilización de programas CAD, además de lo sencillo de su aplicación al problema dado.

Así mismo, la interpolación como un sub campo del análisis numérico, muy utilizado en sistemas GIS, se utiliza para la obtención de nuevos puntos a partir de otro conjunto discreto de ellos. En este sentido, la interpolación es útil cuando queremos aproximar una función compleja en una mas simple, comenzando por un cierto número de valores existentes. Sin embargo, dependiendo de las características del propio problema y del método de interpolación, la eficiencia del mismo puede compensar el grado de error o ruido producido.

Este sistema de reasignación de puntos, se hace propicio cuando no existen puntos homólogos en los cuales centrar landmarks. Sin embargo, existe una distorsión en la reconstrucción de la función, lo cual implica una pérdida de información si se desea analizar aspectos mas detallados de la forma cerámica. De esta manera, los resultados de la interpolación solo servirían para comparar y sacar resultados correlativos, los cuales son útiles cuando se desea comparar los contornos de las formas de manera genérica (ver anexo, Gráfico 4).

La geometría analítica, no solo se dedica al estudio de las proporciones y las medidas de extensión, sino que es una herramienta con la cual estudiar los puntos de intersección, las áreas, los ángulos de inclinación, las distancias, etc. La utilización del plano cartesiano se hace fundamental, para posicionar cada punto en el espacio. En este sentido, para este trabajo utilizaremos básicamente el primer y cuarto cuadrante, con el objetivo de analizar uno de los perfiles (positivo) de cada unidad de análisis, basándonos en cálculos trigonométricos para la extracción de datos.

Por otra parte, en el ámbito estadístico, la dirección de las relaciones lineales y proporcionalidades entre las variables estadísticas, se obtuvo a través de la generación de una matriz de correlación. Para ello se ordenaron los valores en un arreglo el cual permitiese una evaluación cómoda de la fuerza, el sentido y la forma, representada en la línea de mejor ajuste.

Existen varios coeficientes que miden el grado de correlación entre variables, entre los que destacan el coeficiente de correlación de Spearman, análisis de correlación canónica el cual es un método de análisis multivariable, el cual tiene como objetivo buscar relaciones entre dos grupos de variables. Por otra parte, también tenemos el coeficiente de correlación de Kendall basado en los intervalos jerarquizados de las observaciones de los propios datos, esto provoca que la distribución sea independiente de la que presentan las variables  $X$  e  $Y$ , siempre y cuando los datos representados por dichas dos variables sean independientes y continuas. El más conocido es el coeficiente de correlación de Pearson, el cual se define como el índice que mide el grado de relación de dos variables cuantitativas. Independiente de la escala de medida de las variables, este se obtiene dividiendo la covarianza de dos variables entre el producto de sus desviaciones estándar.

Ahora bien, para el caso de la comparación de formas, el método más común basado en hitos para la superposición de las mismas, es el método denominado Procrustes. El análisis se realiza básicamente en tres pasos: el primero elimina el efecto de la posición, el segundo el efecto del tamaño, mientras que el tercero elimina el efecto de la orientación (Rohlf, 1990; Rohlf and Slice, 1990; Zelditch et al., 2004). El método de Análisis Procrustes Generalizado (GPA), es aplicado cuando se desea eliminar la variación en la ubicación, la orientación y la escala, específicamente sobre las diferencias existentes entre tamaño y forma (ELEWA, 2010: 117). Una vez superpuesto, el GPA crea una media donde la variabilidad de las posiciones pueden ser escaladas. De esta manera las configuraciones de la forma media, son registradas como residuos de las diferencias calculadas. Por otra parte, tenemos el método de Análisis de Procrustes Ordinario (OPA) el cual implica la coincidencia de mínimos cuadrados de dos configuraciones usando las transformaciones de similitud. En este sentido, para eliminar la posición, los centroides de las configuraciones se traducen al origen del sistema de coordenadas, ( $x = 0$ ;  $y = 0$  y en 3D,  $z = 0$ ). Entonces, las distancias entre las configuraciones reflejarán las diferencias de tamaño, orientación y forma. Para eliminar el tamaño, es necesario escalar las configuraciones al mismo tamaño de la unidad, en la cual se dividen las coordenadas de cada punto por el tamaño del centroide de la configuración correspondiente. Mientras que para eliminar el efecto de orientación, se minimizan las distancias cuadradas sumadas entre puntos de referencia correspondientes (Wilczek, 2017: 26).

El análisis multivariable es la rama estadística que se ocupa del análisis de los datos sobre un conjunto de  $n > 1$  de variables, ya sean cuantitativas, cualitativas o una combinación de ambas (Cuadras, 1981). Es en este sentido y en lo que respecta el posterior procesamiento de los datos según su respectiva variabilidad, el Análisis de Componentes Principales (PCA) es el método multivariado más utilizado en la morfometría geométrica. El propósito principal de este, es reducir la dimensionalidad de los datos, reemplazando las variables por Componentes Principales o Ejes. Estos componentes principales (PC) son combinaciones lineales de las variables de forma originales y son mutuamente independientes (Jolliffe, 2002).

## 2.4 Hipótesis

Aunque este trabajo no pretende poner a prueba algún tipo de hipótesis en particular, si pretende enfocar el estudio hacia la generación de nuevas hipótesis en el ámbito de la manufactura, la evolución de las formas y la respectiva utilidad funcional de los recipientes, de acuerdo a sus características físico-geométricas.

En este sentido, existirían pruebas etnográficas que tipos iguales de recipientes pueden servir para fines diferentes en los contextos sociales más variados (Fernández, 1989). Así mismo Cabanillas de la Torre advierte: “*la tendencia a interpretar los conjuntos como, mosaicos de tipos cerrados, preestablecidos en tipologías ya conocidas (...) no responde a la cuestión esencial: la razón por la cual los artefactos estudiados se encuentran en los contextos escavados*” (Cabanillas de la Torre, 2011).

Ahora bien, la forma de un recipiente sería la derivada de la distribución de las partes que la componen. En el caso de un recipiente cerámico, estas distribuciones servirían para la identificación de patrones, como por ejemplo aquellos cinéticos de fabricación, así como su probabilidad funcional, entre otros aspectos, dado que es posible cuantificar la optimización de uso de las respectivas formas, para luego contrastar dicha información con los resultados arqueométricos.

En definitiva, la forma guardaría estrecha relación con la intencionalidad de fabricación para un determinado uso práctico, el cual se tornaría estrictamente funcional de acuerdo a su grado de especialización. Ahora bien ¿cuándo la intencionalidad semiótica adquiere relevancia frente a la necesidad pragmática?. Así mismo, en lo que respecta a los aspectos metodológicos, técnicas para la adquisición, sistematización e interpretación de los artefactos arqueológicos, en función de su forma ¿cuándo un fragmento es demasiado pequeño para ser identificado? ¿Sería posible identificar automáticamente fragmentos que no sean necesariamente de borde? (Wilczek, 2017: 85 - 146).

## 2.5 Variables

Las representaciones matriciales de las tipologías cerámicas de Sigilata Hispánica aquí utilizadas, fueron obtenidas a partir de dibujos bidimensionales, las cuales básicamente contemplan dos variables espaciales (X e Y). Estos valores son extraídos directamente sobre el dibujo utilizando un software de ingeniería y diseño, siguiendo un procedimiento de captura definido. A su vez, tenemos las variables *longitud de contorno*, *ángulo* y *volumen* obtenidas a partir de los valores espaciales de las variables iniciales X e Y. De esta manera, podemos considerar a través de valores derivados, otros datos y resultados relacionados con la forma y el tamaño.

Siguiendo la línea de (KARASIK y SMILANSKY, 2011) se consideró oportuno estructurar las variables de modo que fueran fácilmente gestionables, al utilizar funciones con tareas específicas, de cara a una gran cantidad de individuos. Finalmente, las tramas sintetizadas de datos resultantes podrán contar con un último conjunto de variables como *cronología* y/o *procedencia*, lo cual nos permitirá establecer distribuciones geográficas y temporales de los conjuntos si se desea.

### 2.5.1 Definición conceptual de la variable

Como definición conceptualizada, las coordenadas X e Y adoptan la denominación de variables iniciales, las cuales contienen los datos duros (cuantitativos) obtenibles a través de las herramientas de recolección y medida. Este tipo de variable cuantitativa es de carácter continuo, y han sido ordenadas en las respectivas columnas de la estructura matricial. Por otra parte, los puntos de referencia se organizan en las filas según su distribución espacial en el plano, a partir de un punto de origen base, ubicado en el centro de revolución del objeto (axial Y). Las variables resultantes u obtenidas a partir de las iniciales espaciales, por una parte son derivaciones del tamaño (volumen) y la forma (ángulos) de los recipientes. Ambas variables, también son de carácter cuantitativo y continuo, pero no se representan en el plano cartesiano, puesto que son el resultado de las primeras.

Existe un tercer tipo de variable, que puede ser complementaria, la cual integra otros datos especiales. No obstante en el presente trabajo no trataremos este aspecto por cuestiones de tiempo. Sin embargo, aunque las variables más empleadas en arqueología suelen ser las nominales (cualitativas) y las de razón (cuantitativas), es preciso considerar que los tratamientos estadísticos aplicados son diferentes para cada una de ellas (Fernández, 1989: 94). En este sentido, los datos cuantitativos pueden ser transformados a cualitativos (ordinales), esta transformación se aplicará en ocasiones, cuando se busca determinar dimensiones de objetos, según estados como por ejemplo: *pequeño, mediano y grande*.

### 2.5.2 Definición operacional de las variables

La definición operacional conlleva identificar el carácter práctico que distingue la calidad y eficacia de la variable para el ejercicio empírico. Es decir, que independientemente de cómo se definan conceptualmente las variables, estas puedan ser medidas y probadas por otros especialistas para alcanzar objetivos similares.

En este trabajo se propone un método de clasificación estadística computarizada de cerámicas. El método se basa inicialmente en la captura de dos variables espaciales (X e Y), en donde el punto de origen se encuentra en la superficie central interior, exactamente donde comienza el eje de simetría. Estas dos variables se definen básicamente como anchura y altura (X e Y) dividiendo la estructura en rodajas (*slices*), a partir de un eje de referencia central, desde el cual se obtienen las secantes del contorno, los ángulos y el volumen del recipiente.

En arqueología, es común utilizar variables nominales dicotómicas; es decir, aquellas variables que presentan dos estados presencia/ausencia (1/0). En este sentido, la aplicación de esta dicotomía, no permite evaluar o medir el atributo más allá de si existe o no, y pese a las dificultades que implicaría evaluar o medir aquellos atributos generalmente fragmentados, esto nos conllevaría a la implementación y aplicación de instrucciones que permitan gestionar datos perdidos (*missing data*). Sin embargo, el programa diseñado para este trabajo, solo permite modelar los resultados a partir de una estructuración matricial cuantitativa, que en principio no considera atributos cualitativos, los cuales han de ser tratados como estructuras independientes y complementarias, que permitan comparaciones inter atributos entre individuos.

### 2.5.3 Operacionalización de las variables

Desde el punto de vista operativo, cada variable nos entrega un tipo de información específica, la cual será de utilidad al momento de generar el cluster o dendrograma morfométrico. Es decir, posterior a la estructuración de los datos en arreglos matriciales, todas las observaciones deben ser simplificadas en datos que puedan ser representadas en una única trama.

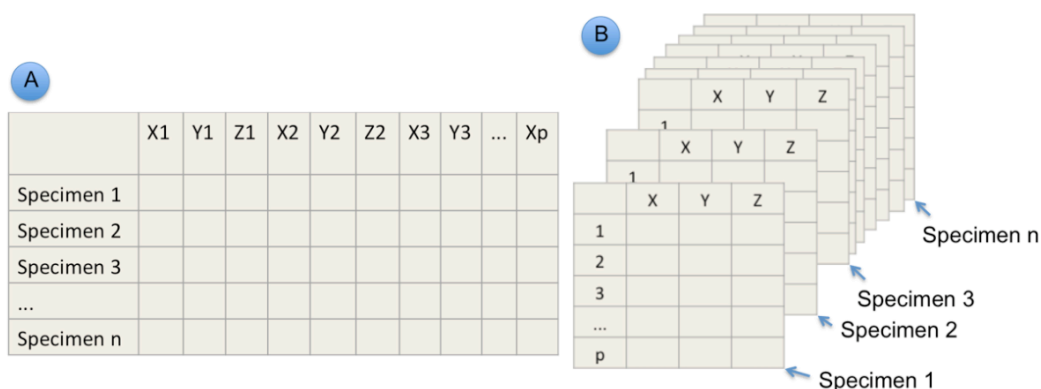


Fig. 1 Ejemplo gráfico de arreglo matricial de datos 2D y/o 3D de coordenadas de referencia. Imagen obtenida de Guía Rápida Geomorph. Emma Sherrat, 2016.

La operacionalización de las variables se puede dividir principalmente en dos fases. La primera consta de la obtención de las variables resultantes: longitud de contorno, ángulo y volumen (CL, A, V). Estos resultados son obtenidos y tratados a través de la aplicación de funciones programadas en el entorno estadístico R. La segunda consta de la normalización de los datos espaciales, así como la evaluación de las variables realizando un análisis exploratorio inicial, en donde se extraen valores como: media aritmética, correlación, desviación estándar, etc. Posteriormente, se procede a realizar la sintetización de los datos con la obtención de la componentes principales (PCA).

Este conjunto específico de objetos ordenados en un arreglo, tiene como finalidad de evaluar y obtener valores de distancia, con los cuales reproducir un dendrograma de agrupaciones. Estas agrupaciones, son el resultado de valores obtenidos a partir de la distribución espacial de los puntos de contorno sobre el plano cartesiano. Es decir, una vez normalizados los valores topológicos de los contornos, estos son comparados entre sí, con el objetivo de obtener valores de distancia entre cada punto interpolado, lo cual se obtiene a través de un cálculo combinatorio entre cada punto de cada individuo, expresado de la siguiente manera:  $(N \cdot N) \cdot P$  donde  $N$  es el número total de población y  $P$  es el número de puntos interpolados.

A partir de este cálculo combinatorio, se obtiene un arreglo matricial con los resultados de las distancias entre cada uno de los puntos normalizados. De acuerdo con estos valores de distancias normalizados, es posible obtener matrices de distancias independientes para cada punto entre individuos. Así mismo, es posible también obtener valores de similitud evaluando las áreas entre cada una de las funciones de los individuos de la población, y dada la estructura versátilmente ordenada en la que se distribuyen los puntos y las variables, es posible automatizar de forma sencilla operaciones de cálculo diferencial con objeto de integrar resultados.

## CAPITULO III: METODOLOGÍA

### 3.1 Tipo y nivel de investigación

El tipo de investigación se define según la naturaleza de los objetivos, así como en cuanto al nivel de conocimiento que se desea alcanzar con el estudio. Por una parte, la investigación exploratoria se considera como el primer acercamiento científico a un determinado problema. En este sentido, aunque la problemática de este trabajo ya ha sido planteada en algunas tesis doctorales, aún no ha sido suficientemente abordada y las condiciones existentes aún no son del todo determinantes.

Por otra parte, este trabajo se defina también como una Investigación descriptiva, la cual tiene como objetivo describir lo más ampliamente posible todos los componentes principales, a partir de las variables aquí seleccionadas para dicho objetivo. La metodología y procedimiento en la obtención de datos cuantitativos para el análisis de forma en objetos cerámicos, requiere de un marco específico diseñado a partir de los diferentes avances metodológicos y técnicos en diferentes áreas, como lo es la matemática, física, ingeniería, informática y diseño, entre otras disciplinas. Actualmente, algunos estudios se han enfocado en el análisis de correlaciones entre tamaño y forma como es el caso de la alometría, la cual es aplicada en formas biológicas con todo lo que ello implica. Por otra parte, “(...) *los análisis de MG permiten separar la forma propiamente dicha del tamaño, lo cual posibilita la realización de numerosos análisis estadísticos sobre estas variables independientemente, o asimismo, evaluar la relación de dependencia entre ambas (...)*” (Charlin y Hernández, 2016).

Para el presente trabajo, las coordenadas de los puntos de referencia detectados desde una entrada (input), se interpretarían como “formas” hacia la salida (output) del conjunto matricial. En este sentido, para el caso de análisis en 2D, las coordenadas cartesianas han de ser obtenidas a partir de la digitalización de los puntos morfométricos sobre la imagen del objeto (Charlin y Hernández, 2016). Esto constituye una ventaja a la hora de la conformación de la matriz de datos, puesto que existiría un escollo relacionado con la necesidad de incorporar coordenadas infinitas incluso para describir el marco superficial del objeto más simple (Barceló, 2009). Además en el caso 3D, sería necesario transformar los datos bidimensionales en coordenadas polares representadas de manera simétrica alrededor de un eje tridimensional (Z) en el cual se distribuyan los valores de X e Y.

Sin embargo, este trabajo se centra en el problema bidimensional, el cual intentaremos plantear de manera versátil y susceptible de ser extensible en un futuro a un método de representación tridimensional. Ahora bien, la documentación y la reconstrucción tradicional de la cerámica arqueológica, generalmente se ha basado en la medición del perfil, tomando solo puntos representativos del contorno con solo una sección en revolución del fragmento, la cual se distribuye en relación con el eje de rotación (Bons *et al*, 2010: 313). Para el caso de este trabajo, integraremos el total de secciones a lo largo del contorno del perfil. No obstante, nos enfrentamos a lo que Bookstein (1997) redefinió como *semilandmarks* o landmarks de tipo III, puesto que dada la imprecisión de este tipo de puntos, la interpretación geométrica se ve afectada producto de la representación diferencial de una misma región dentro de la estructura

(ver apartado 2.2). En nuestro caso particular, también nos encontramos con esta ambigüedad, cuando intentamos comparar los extremos de un diámetro máximo, así como el punto inferior de una concavidad (TORCIDA y PÉREZ, 2012: 132).

Aunque este trabajo comienza desde una idealización simétrica del perfil, se posee plena conciencia respecto a que dicha idealización, generalmente dista mucho de ser verdadera. Por esta razón, uno de los objetivos de este estudio, es obtener una aproximación morfológica a partir de una idealización simétrica, que luego pueda ser modificada con respecto a la asimetría real de la función una vez introducida la tercera variable dimensional (Z).

Durante una entrevista con Joan A. Barceló en sopesamos las posibilidades que ya advierte en su libro “Computational Intelligence in Archaeology” acerca de lo que él define como las dos posibilidades factibles de captura optima de puntos de contorno (Barceló, 2009: 215):

- a) Los puntos seleccionados a lo largo del contorno deben corresponder a puntos clave, como máximos de curvatura o puntos que de alguna manera sean “distintivos”. Un método sugerido se basa en hallar puntos de inflexiones, es decir, curvaturas de cero-cruces. La curvatura  $k$  de una curva plana, en un punto de la curva, se define como la tasa instantánea de cambio de la pendiente de la tangente en ese punto con respecto a la longitud del arco (Barceló, 2009: 215).
- b) Seleccionados puntos a lo largo de un contorno que solo presenta puntos de flexión no debería proporcionar puntos-clave necesariamente. Podemos seleccionar cualquier punto (100 o mas) Siempre que estamos muestreando la forma con un espaciado aproximadamente uniforme (Barceló, 2009).

La cuestión analítica radica en que la mayoría de análisis morfogeométricos, basan la comparación de objetos desde un punto 0 de origen situado en el exterior. En este sentido, cabe cuestionar que si la relación de un objeto que esta hecho para vaciar algún tipo de sustancia distribuido a partir de su centro de gravedad ¿por qué no considerar el punto de origen en el centro de simetría correspondiente a la superficie interior del recipiente por donde pasa el axial Y?. Es decir, ¿es acertado considerar los valores cartesianos y distancia de los respectivos puntos, como fenómenos inconexos, aunque estos guarden una fuerte relación frente al problema forma y tamaño desde un punto de simetría axial común?.

Pese a la imposibilidad de extendernos en demasía, e intentando definir los fundamentos que caracterizan esta investigación de manera genérica, este trabajo experimental pretende correlacionar y medir el grado de relación existente entre dos o más variables inter-individuales de los objetos aquí analizados. Por este motivo, el nivel de investigación que compete al presente trabajo aborda a modo de sondeo, el grado de profundidad con que los fenómenos formales se manifiestan en la población estudiada. Con todo lo que ello implica, este tipo de investigación permite dimensionar los diferentes niveles de trabajo, de acuerdo a los objetivos establecidos a priori, así como la manera de abordar el evento de estudio, según las técnicas, métodos, instrumentos y procedimientos propios de cada uno.

### 3.2 Descripción del ámbito de la investigación

Generalmente en arqueología, esta relación de cantidades, número de individuos, fragmentos existentes, etc. son el problema que sufren las interpretaciones intuitivas. Precisamente la intuición en terreno, no nos entrega la misma fiabilidad, al momento de abordar las cuestiones procedurales de la metodología, o mejor dicho, ordenación. Ahora bien, ¿cómo evolucionó la forma a través del tiempo?. Esta es una pregunta que solo puede ser respondida, distinguiendo entre uno de los problemas fundamentales en la investigación científico arqueológica. Este problema está relacionado con la identificación del estudio en sí mismo, es decir, los estudios se han de definir como: *confirmatorios* o *exploratorios* (Tukey, 1980). La respuesta depende si los estudios realizados prueban una determinada hipótesis (confirmatorios), o bien generan nuevas hipótesis (exploratorio).

Este trabajo en particular se define como tipo *exploratorio*, puesto que aquí no se busca analizar el valor diagnóstico de inferencia estadística principalmente, sino que se busca obtener una reflexión acerca de las observaciones, que nos proporcione el descubrimiento de algún comportamiento inesperado en la comparativa de los datos. Sin embargo, esta primera definición no excluye la susceptibilidad inferencial de los resultados, puesto que estos pueden ser sometidos a pruebas de significación en el futuro. Aunque esto requeriría de un enfoque diferente, lo cierto, es que cada paso dado en los diferentes ciclos de investigación, han de basarse en decisiones relacionadas con cada uno de los enfoques anteriormente descritos.

Desde los años ochenta los enfoques cuantitativos, han buscado identificar puntos de referencia a lo largo del contorno de los recipientes dividiéndolos en segmentos. Estos métodos generalmente se han aplicado sólo a fragmentos de borde, mientras que el potencial de identificación de los fragmentos de cuerpo y base permanece sin explorar (Wilczek, 2017: 77). Así mismo, cuando se alinean una serie de vasijas completas, es posible observar que los bordes, que generalmente se suponen muy significativos para la clasificación tipológica, son a veces mucho menos importantes que el resto del vaso, dado que sus formas globales suelen ser menos variables que sus bordes asociados, y estas se encuentran más fuertemente relacionadas con su función (Wilczek, 2017: 85).

El ámbito del presente estudio se centra especialmente en una propuesta metodológica de recolección y análisis cerámico, en el cual se implementan herramientas de análisis estadístico, utilizando un entorno de programación, en el cual se automatizan funciones específicas, con el objetivo de obtener resultados, identificar patrones y comparar valores cuantitativos referentes a la forma, disposición y distribución geométrica de las partes de un conjunto de recipientes cerámicos.

El análisis confirmatorio a diferencia del exploratorio, presenta un problema agudo en arqueología dada la dificultad que supone cumplir estrictamente las exigencias teóricas, no obstante, ambos tipos de estudios son complementarios. Así mismo, es preciso considerar que la confirmación de una hipótesis se ha de realizar utilizando diferentes resultados de una misma experiencia, así como otros datos de aquellos que sirvieron para inducirla, puesto que de otra forma, caeríamos en el error epistemológico del razonamiento circular o tautológico, que puede dar por significativas relaciones únicamente accidentales (Fernández, 2015: 66).



### 3.3 Población y muestra

Estadísticamente hablando, si no existe una cobertura adecuada de la forma a través de la captura de “*puntos de referencia*”, los resultados podrían verse afectados cuando el tamaño de la muestra no fuese suficiente: “*Una cantidad insuficiente de hitos puede llevar a la pérdida de información valiosa, mientras que una cantidad exagerada de hitos lleva a resultados estadísticamente poco confiables si el tamaño de la muestra es insuficiente*” (Toro, M. et al, 2010: 980).

Considerando las observaciones de Toro (2010), el tamaño de la misma debería ser tres (Monteiro et al., 2002) o cuatro veces la cantidad de hitos capturados (Bookstein, 1996). De esta manera, la problemática no solo se limita a cuántos puntos se han de representar o de cómo se han de capturar, sino que se ha de evaluar también el tratamiento de los datos: “*la forma del objeto en estudio no se describe en términos de sus dimensiones, sino de la relación espacial entre sus partes*” (Toro et al, 2010: 977)

Se ha considerado oportuno desarrollar este trabajo en torno a piezas completas, las cuales posteriormente aporten información de utilidad en la reconstrucción de fragmentos. Ahora bien, las muestras han sido escogidas a partir de tres trabajos: “*La Terra Sigillata Hispánica del Municipium Augusta Bibilis*” (SÁENZ, 1997); “*Cerámicas hispanorromanas: Un estado de la cuestión*” (PERALTA, 2008); “*Les Céramiques A Parois Fines Dans La Péninsule Ibérique*” (MAYET, 1975).

Los individuos que componen la población han sido codificados utilizando el siguiente orden: *sigla, número de catalogación, unidad de contorno* (exterior o interior). En síntesis, la población ha sido escogida considerando la praxis del método, centrándose en formas que presentan ciertas características interesantes para el desarrollo del mismo, así como la ingente documentación existente al respecto. Ahora bien, entre la población sometida a análisis se encuentran las siguientes tipologías:

- Dragendorff 15, 17, 24, 25, 27, 29, 35, 36, 37, 46.
- Ritterling 8, 8A.
- Hispánica 5, 6, 10, 17, 38, 49.
- Paz 82A, 82B, 83B, 86.
- Palol 1, 4, 82.

Considerando lo anteriormente expuesto, y pese a la imposibilidad de obtener punto de referencia homólogos, se consideró oportuno la captura de puntos análogos, los cuales describen segmentos a lo largo del contorno susceptible de análisis. La longitud de estos segmentos, dependerá del grado de sinuosidad del contorno; es decir, entre más cerrada sea la curva, mayor número de puntos contendrá dicha porción, que a su vez, tenderá a estar compuesta por segmentos de menor longitud cuanto más abiertas sean las curvas. En síntesis, la cantidad de puntos en el muestreo, dependerá estrictamente de la propia complejidad morfológica del contorno analizado y muestreado.

### 3.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

El número de variables sobre las que trabajan, así como la complejidad de sus interrelaciones define el carácter científico de las mismas (Negre, 2014: 6). En este sentido, y pese a que las herramientas de recolección son también importantes, la inexactitud de estas no necesariamente ha de restar precisión a las mismas.

Considerando el bajo presupuesto con el que se ha llevado a cabo este trabajo, los instrumentos básicos empleados en este proyecto fueron principalmente: MacBook Pro 2012, Mac Mini 2014, IRIScan Book. Así mismo, el software utilizado para la ejecución de todo el procedimiento contó con los siguientes programas: R, Excel, STRATA 3D, AutoCAD, MatLAB. En adelante, la programación así como la aplicación de técnicas estadísticas compiladas en bibliotecas de R, fueron a grueso modo lo más complicado de este trabajo. Para la ejecución del programa, se utilizaron las siguientes librerías: Bezier, sm, coda, scatterplot3d, misc3d, plot3D, sp, rgdal, rgl, tcltk, rpanel, plyr, ggplot2, survival, MASS, TH.data, sandwich, mvtnorm, multcomp, shapes, mcmc, MCMCpack, geomorph.

Para la recolección de los datos, se comenzó por escanear el material gráfico. Posteriormente, las imágenes fueron guardadas en formato JPG para luego ser importadas al espacio de trabajo de AutoCAD 2016, y respectivamente vectorizadas. Una vez obtenido el perfil, se procedió a extraer los datos cartesianos del objeto, los cuales fueron exportados a un archivo en formato TXT. Una vez exportados los archivos de texto, estos fueron tratados en Excel para luego volver a ser devueltos a formato TXT, estructurados y listos para ser introducidos en R para su posterior análisis.

Una vez activo el programa, los datos son importados en tramas de datos organizados en lista. Estas listas contienen las dos variables iniciales (X e Y) y un número de filas arbitrario correspondiente a los puntos de contorno obtenidos en la digitalización manual de las formas. Posteriormente, estas listas de datos son transformadas en arreglos matriciales, en donde las filas arbitrarias son igualadas a través de la interpolación de puntos.

El programa es un prototipo en bruto, el cual se encuentra en fase de desarrollo hasta la presentación de este trabajo, y está dividido en 3 volúmenes. El primero es el encargado de estructurar y extraer las variables derivadas. El segundo volumen contiene las funciones destinadas al análisis exploratorio de los datos. El tercer volumen, está compuesto por la consola de comandos con los cuales es posible operar el programa, el cual nos permite navegar por el contenido y analizar la información.

Desde el punto de vista técnico, la recolección de datos no necesita de conocimientos avanzados en programación puesto que este ya ha sido diseñado y desarrollado con anterioridad. Sin embargo, es necesario conocimientos básicos en AutoCAD y Excel. A partir de este procedimiento, las estructuras de datos matriciales iniciales, pueden ser posteriormente reducidas a tramas simples, en las cuales sería posible integrar más datos, como por ejemplo cualitativos, de presencia/ausencia, datos de posicionamiento o incluso datos de composición. Estos aspectos aunque no se tratarán en este trabajo, inicialmente el procedimiento de recolección es totalmente independiente a la integración de datos complementarios.

### 3.5 Validez y confiabilidad del instrumento

Cuando hablamos de la validez de un instrumento, no necesariamente nos hemos de referir a un instrumento físico como tal, sino a la consistencia interna de que garantiza una correlación entre lo que se mide y la herramienta de medida. Por ello en la actualidad, la morfometría como taxonomía cuantitativa de objetos, no solo se reduce a la toma y análisis de la información geométrica, sino también pondera como técnica de estandarización en el almacenamiento de datos morfométricos. Así mismo, la fiabilidad se describiría según la consistencia de la prueba en sí misma, no obstante y pese a ello, la validez se definiría de acuerdo a la fuerza de los resultados finales, siempre cuando estos sean considerados como una descripción precisa de la realidad.

Para este caso particular y en primera instancia, la confiabilidad del instrumento dependerá de la calidad de imagen, así como el vectorizado en CAD realizado por el propio arqueólogo. Pese a que podría existir un margen de variación entre la captura de puntos realizada por dos arqueólogos diferentes, es posible integrar alternativas para objetivar esta etapa del procedimiento, no obstante, esto es un aspecto que se abordarán en futuros trabajos.

Por otra parte, la obtención de los valores estimados para las variables resultantes: longitud de contorno, ángulo y volumen (CL, A, V) son resultado de la automatización de fórmulas ampliamente descritas en la bibliografía matemática, las cuales se basan en cálculos trigonométricos de la geometría analítica. En este sentido, las funciones programadas en lenguaje R, garantizarían resultados con errores en el rango de milímetros. Por ejemplo para el caso del volumen estimado de los recipientes, estos valores se expresan en milímetros cúbicos, haciendo necesario la división de los resultados por mil, para obtener el equivalente en centímetros cúbicos.

Ahora bien, a priori confiando en que el dibujo está correctamente planteado por el arqueólogo respecto a su orientación, y el escaneado a sido llevado de forma correcta respecto su eje horizontal y vertical. La ordenación de los datos estaría sustentada por la correcta estructuración de los arreglos matriciales, los cuales permiten aplicar pruebas al total de individuos de manera simultánea. Esta simultaneidad garantiza una aceleración en el proceso cuando se analiza un gran volumen de individuos. Sin embargo, cabe destacar que las pruebas aplicadas sobre dichas estructuras, también dependen del criterio del propio arqueólogo. Si bien es cierto la fiabilidad no solo depende de que los resultados significativos deben ser intrínsecamente repetibles. Por ello, este trabajo puede ser llevado a cabo por otros arqueólogos aplicando el método a otro conjunto, siendo posible realizar el mismo experimento bajo las mismas condiciones poniendo a prueba los resultados.

La aleatorización de los grupos de muestra y la asignación de los controles, aunque bastante simples, sustentan la validez interna de la estructura experimental del diseño; y abarca todas las etapas del presente método, las cuales se pueden dividir principalmente en cuatro fases, las cuales son abordadas entre los capítulos 3 y 4: obtención de datos, procesamiento, análisis y resultados. Para finalizar, se ha de aclarar que pese que la fiabilidad es un componente esencial de la validez, en sí misma la fiabilidad no sería una garantía de validez. Por esta razón este trabajo intenta cumplir los requerimientos de replicabilidad en igualdad de condiciones.

### 3.6 Plan de recolección

El procedimiento empleó documentación gráfica de dibujos cerámicos obtenida de trabajos acerca de cerámicas sigillatas hispánicas, posteriormente se procedió a realizar el escaneado con IRIScan Book a 900 dpi. Introducidas las imágenes en el ordenador utilizando formato JPG, cada dibujo fue trabajado en AutoCAD, para vectorizar los contornos de los mapas de bits, escalado y exportado en formato de texto (txt).

El proceso de digitalización de las imágenes de los dibujos cerámicos se podría dividir en los siguientes pasos (Bons *et al.*, 2010: 313):

- a) Digitalización de los dibujos publicados.
- b) Vectorización de los contornos.
- c) Separación de los perfiles para su posterior procesamiento por computadora.
- d) Exportar los dibujos de los perfiles a un formato de trama sin compresión.

Nuestro procedimiento difiere solo en el último punto, puesto que a diferencia con el método planteado por Bons (2010), lo útil en este trabajo no es la exportación del dibujo propiamente tal, sino los valores cartesianos obtenidos a partir de los puntos de la polilínea sobre el contorno de los perfiles, que luego será traducida en una matriz de datos espaciales.

El procedimiento de captura de puntos en AutoCAD es un procedimiento muy sencillo, el cual consta básicamente de tres pasos:

- 1.- Importar la imagen en formato JPG.
- 2.- Dibujar la silueta sobre el contorno y sus ejes utilizando el comando *pline*.
- 3.- Una vez dibujada la silueta, se han de escalar los modelos.
- 4.- Mover el punto de origen correctamente orientado a la base interior del objeto.
- 5.- Aplicar el comando *list* el cual devuelve los valores cartesianos.
- 6.- Copiar los valores desde la consola de AutoCAD y pegar en un archivo de texto.

Posteriormente, los archivos de texto son exportados en dos condiciones: contorno interior (*\_ci*) y contorno exterior (*\_ce*). Luego en Excel donde se descartaron los parámetros no útiles, seleccionando solo los valores numéricos de la coordenada X e Y. Se devuelve el archivo de salida con el mismo nombre y se guarda en el fichero de proyecto. Una vez en el fichero de destino, se corre el programa en R, dónde automáticamente se importan los archivos de texto en dos listas, una para los contornos interiores y otra para los contornos exteriores.

### 3.7 Procesamiento de datos

El procesamiento de los datos comienza con la introducción de los ficheros en el entorno estadístico R, a través de la función de importación, la cual organiza las matrices de datos en una lista inicial. La función de importación automáticamente extrae las variables derivadas de *longitud de contorno*, *ángulo* y *volumen*. Sin embargo, los puntos de contorno de cada individuo siguen siendo diferenciales, es decir, el número de filas de cada matriz es de diferente longitud.

Las funciones utilizadas para extraer los datos de las variables, están basados en fórmulas matemáticas como el cálculo de volumétrico en cilindros y razones trigonométricas. Ahora bien, por cuestiones de extensión no especificaremos detalladamente este aspecto, el cual no es tan importante como el tratamiento de los resultados, el análisis y la respectiva interpretación de los mismos. Solo cabe destacar que una parte fundamental del procedimiento es la homogenización de los puntos, sea a través de la interpolación u otro medio, este aspecto es importante de cara a la utilización comparativa de los datos.

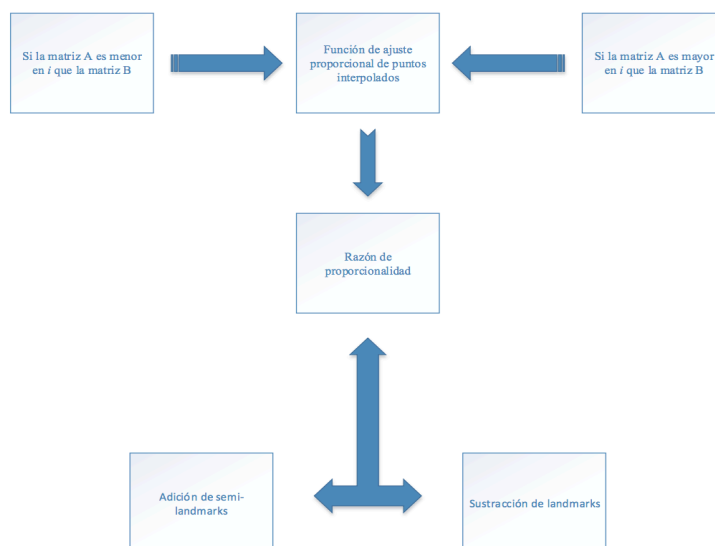


Fig. 2 Diagrama de flujo en el procesamiento previo de datos. VISIO 2016.

El diagrama de flujo anterior muestra de forma gráfica el algoritmo que finaliza con la adición o sustracción de puntos, esto demarca el enfoque con el cual se plantea el desarrollo del código y la estructura de las funciones. Como anteriormente ya habíamos dicho, se optó por el camino más sencillo, utilizando una librería para la interpolación de puntos en curvas Bezier. Así mismo, pese a que este tipo de interpolación produce ruido o error residual, se pudo estimar la tasa de error a través de la integración del área bajo la función.

Inicialmente se optó por realizar un sumario de los datos, el cual se ordeno en un nuevo arreglo matricial. Este arreglo nos permite observar los resultados de la distribución de puntos a través del contorno, para cada una de las variables de todos los individuos de la población analizada.

En una primera fase es posible también evaluar el tamaño de cada individuo comparando los resultados volumétricos de estos. En este sentido la sumatoria de valores de volumen ( $\text{mm}^3$ ) se obtiene con la automatización de la función sumatoria, la cual devuelve un vector ordenado con los respectivos valores volumétricos (ver anexo, Tablas 1 y 2).

Una vez obtenida la matriz de distancias volumétrica y representado el cluster de clasificación por tamaños, se procedió a obtener la correlación de variables entre individuos. Este procedimiento requirió obligatoriamente de una homogenización de filas en el arreglo matricial. También se pudo comprobar que el arreglo de tamaño normalizado, coincide con los resultados del arreglo no normalizado.

En definitiva, para establecer el análisis en más de una función representativa evitando el sesgo, debemos tener en cuenta que las funciones de las variables obtenidas a partir de los datos cartesianos X e Y, tienen rangos y unidades de medida diferentes, por lo que obligatoriamente se debe introducir un factor de normalización para que las diferentes distancias se consideren en lo que respecta en una misma base cuantitativa (Karasika y Smilansky, 2011: 2647).

Con el objetivo de evitar redundancias, es recomendable enfocarse en las variables relevantes que representan la verdadera variabilidad para todo el conjunto. Para ello es conveniente emplear PCA (Jackson, 1991; Jolliffe, 2002). Este método transfiere la información original de la matriz de distancia a una nueva matriz, sin pérdida de información (A. Karasik, U. Smilansky; 2011, *Journal of Archaeological Science* 38, p. 2647). No obstante, y considerando que la reducción de datos por análisis factorial es usado para explicar las correlaciones entre variables, es conveniente utilizar esta compresión de datos, cuando existe una fuerte correlación inter-variable. De esta manera, se procedió a extraer una matriz de correlación la cual nos graficara los valores de esta aproximación.

La correlación así como la covarianza, necesita de una homogeneidad en la estructura matricial, por lo cual el procesamiento de la lista con longitud diferencial de filas, permite obtener dichos valores para la combinatoria individual de variable. Por otra parte, los arreglos matriciales con puntos interpolados, permite generar un arreglo matricial de correlación y covarianza entre individuos, a partir de variables únicas.

Ahora bien, el PCA es posible enfocarlo de dos maneras diferentes, con sus respectivas ventajas y limitaciones. Por una parte, es posible realizarlo a comenzando por la lista matricial original, o bien, utilizando el arreglo de puntos interpolados. Así mismo, es posible realizarlo con la resultante lista o arreglo matricial de correlación o covarianza. No obstante, la estructura de datos ya permita la manipulación de ambas estructuras por separado. Finalmente, se optó por obtener la trama final de datos a partir de los valores de *slices*, resumiendo dichos conjuntos a través de la media aritmética para los radios (X), la mediana para la altura (Y), la sumatoria de los tramos de contorno (CL), la desviación estándar para ángulos (A) y sumatoria de las porciones volumétricas (V).

## CAPITULO IV: RESULTADOS

En todo estudio arqueológico es extremadamente importante tener siempre en cuenta las tasas de error, lo cual nos permite abordar el problema evitando distorsionar ingenuamente nuestra percepción de los resultados. En este sentido, se pudo constatar el error de interpolación afecta tanto en el aspecto visual de la forma, así como desde el punto de vista cuantitativo. Sin embargo este error residual, ronda los  $0.1 \text{ cm}^2$  al comparar los resultados de áreas bajo la función entre la matriz nativa y la matriz de interpolación, lo cual es despreciable desde el punto de vista estadístico. Empero, es un hecho comprobado que la interpolación provoca una suavización (*smoothing*) de la superficie respecto a la matriz nativa de datos, haciendo imposible la comparación de aspectos más detallados del contorno. En este sentido, la clasificación morfométrica a partir de la interpolación de puntos, permite solo una clasificación general de las formas, sin embargo, también es posible utilizar la matriz nativa para contrastar ciertos aspectos de manera visual, lo cual permite una interacción entre el método automatizado y el criterio del arqueólogo (ver anexo, Gráfico 7).

Ahora bien, de acuerdo a los resultados de correlación entre variables de individuos, se evidencia cierta tendencia en la densidad de distribución. Por ejemplo para el conjunto analizado, las variables *longitud de contorno* (CL) y *radio* (X) se presenta una clara tendencia hacia la correlación negativa, con una leve inclinación positiva, esta se sitúa entre  $-0.6 < r < 0.2$ . Así mismo, entre las variables *longitud de contorno* y *altura*, es posible comprobar una mayor densidad hacia la correlación negativa, la cual se sitúa entre  $-0.6 < r < -0.2$ . Esto nos indica que la variación de la longitud de contorno estaría sujeta a la interacción entre la altura y la anchura, donde X sería determinante de la positividad o negatividad de dicha correlación.

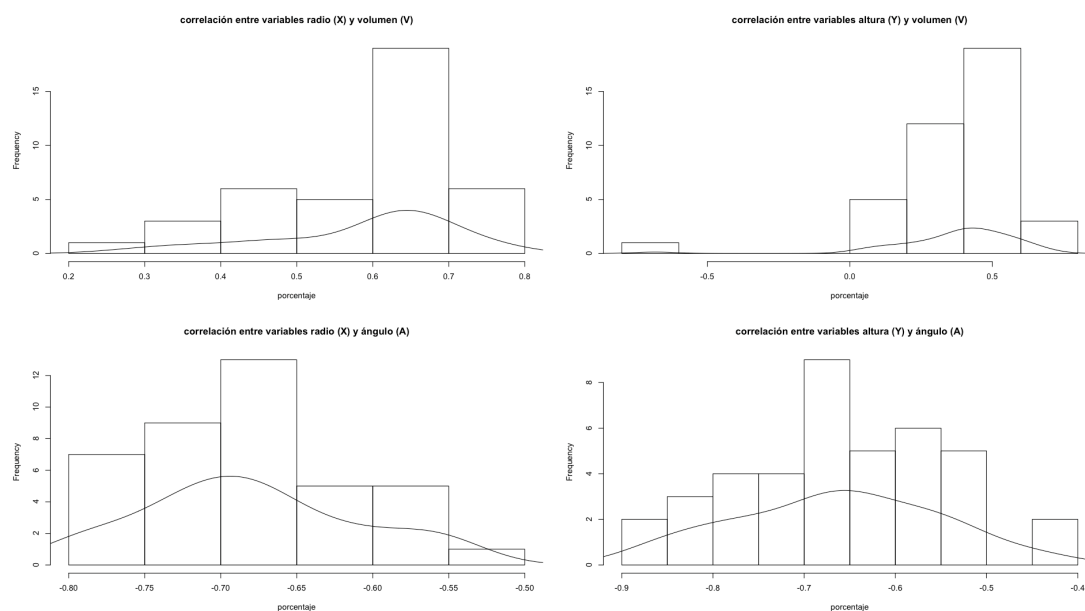


Gráfico 1. Correlación inter-variable (X e Y vs V | X e Y vs A) del conjunto de individuos sujetos a análisis. R Core Team (2017).

En efecto, es necesario probar estos comportamientos en diferentes conjuntos para poder sacar conclusiones acerca de que características son determinantes en la variación morfológica de los conjuntos, según la distribución proporcional de las porciones individuales.

Para el caso de la longitud de contorno, la distancia estaría estrechamente relacionada con la interacción entre altura y anchura. Esta última de acuerdo a su covariación determinaría la sinuosidad de la función del contorno. Es decir, es necesario realizar una significación de los resultados para obtener una clara respuesta de dependencia entre la potencial influencia de las distribuciones espaciales entre la coordenadas X e Y, respecto a la longitud de contorno.

Las relaciones de distancias entre componentes normalizados, han mostrado ser eficaces, sobre todo las variables de posición (X,Y,CL) frente a las de disposición (A,V). Dicho de otra manera, existen correlaciones altas y otras más bajas inter variable.

Finalmente el dendrograma obtenido a partir de la trama de datos final (ver anexo, Tabla 10), es resultado de un resumen extraído del conjunto de datos inicial. El método jerárquico se llevó a cabo aplicando el denominado método del “centroide”, con el cual a partir de la matriz de distancia, se obtuvieron los siguientes resultados.

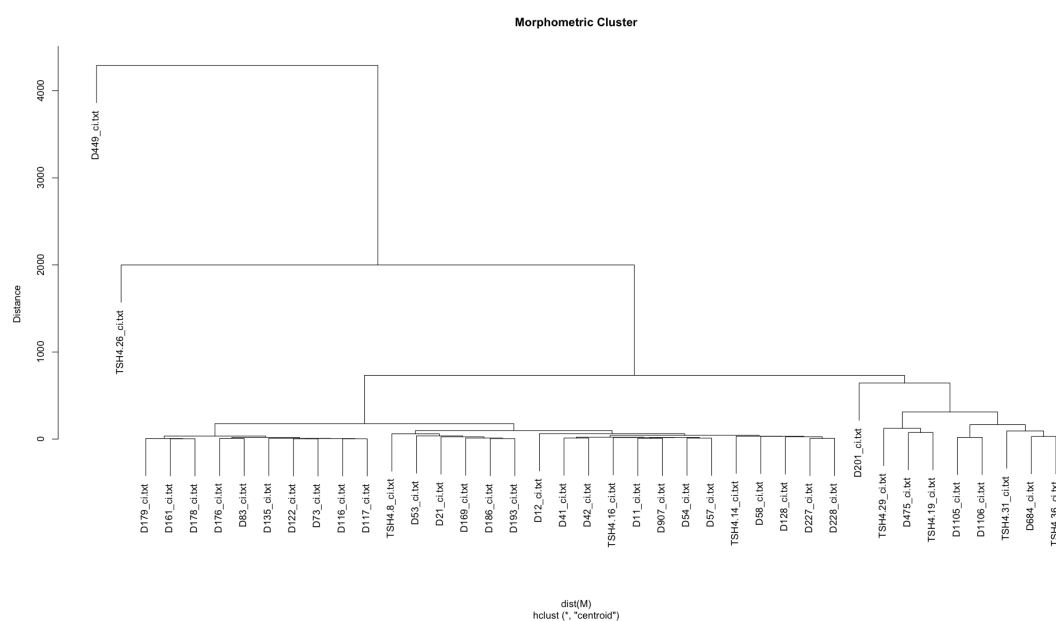


Grafico 2. Dendrograma morfológico de tipo jerárquico basado en método de centroide. R Core Team (2017).

En el gráfico anterior se observan básicamente 4 grupos de los cuales, uno de ellos está subdividido en 3 subgrupos. Podemos comprobar visualmente las similitudes (ver anexo, Gráfico 9), en dónde a simple vista el agrupamiento resulta ser bastante efectivo.

Por otra parte, el Análisis de Componentes Principales (ACP) ha sido representado utilizando un biplot, el cual combina la representación de las observaciones (puntos) y las variables (ver anexo, Gráfico 8). En este sentido, podemos concluir que este tipo de gráfico no muestra la proximidad entre observaciones y variables, sino las direcciones que estas últimas adoptan respecto a las primeras. Este al ser un estudio comparativo y no evaluativo, determina las diferencias existentes entre individuos y no el valor de estas. Finalmente, para apreciar mejor las diferencias entre los valores iniciales, es recomendable consultar los datos contenidos en el sumario de la matriz nativa, con los cuales es posible graficar y recrear modelos de regresión lineal.



## CAPITULO V: DISCUSIÓN

Las representaciones tecnológicas responderían más bien a adaptaciones óptimas en determinados usos, y no necesariamente solo a una función simbólica concreta en determinados contextos. Es decir, los cuencos que están diseñados con objetivo de contener, se comportarían en determinadas ocasiones según aspectos técnico formales que garantizan una utilidad funcional de provecho. ¿Cómo podemos diferenciar lo semiótico de lo estrictamente práctico?

Ordenar las características que puedan entregar indicadores de actividad cinética, tanto de fabricación, uso y fragmentación, es necesario para la interpretación probabilística y la significación de las evidencias contextuales; un ejemplo de ello sería la treceología como método para la determinar la función de los artefactos. En este sentido, el diseño de herramientas de automatización clasificatoria, nos entrega la posibilidad de poder trabajar con un mayor volumen de información y de manera más rápida. En este sentido, la capacidad interior, la inclinación de las paredes, el tamaño, la forma y el volumen, serían características mecánicas intrínsecas de la utilidad del propio objeto. Puesto que la capacidad de contener y/o sustentar determinada sustancia o material, así como su respectivo uso para la carga, permite a la arqueología abordar aspectos como el flujo energético dentro de un contexto multi-sistémico (comercial, industrial, doméstico, energético, etc.).

Estas problemáticas son complejas de abordar cuando el volumen de información a integrar es ingente, lo cual necesita de una sistematización en el tratamiento de grandes conjuntos de datos. Estos han de estar basados en una estructura combinada de variables cuantitativas y cualitativas, las cuales pueden ser eficazmente gestionables a través de conjuntos matriciales y tramas de datos.

Las preguntas de índole contextual que intervienen en aspectos básicos de análisis, son por ejemplo; si dada una supuesta división intuitiva de cerámicas entre yacimientos, ¿se produciría igualmente dicha división cuando dividimos las vasijas a través de las variables que definen su forma?. Para Shennan (1988: 200) la resolución de esta cuestión implicaría *discriminación* y no necesariamente *clasificación*. En este sentido, la posible utilización de Redes Neuronales Artificiales, ofrecerían una potente herramienta de clasificación discriminatoria en arqueología, así como de optimización para la reconstrucción de fragmentos a partir de una base de datos conocida. Sin embargo, para ello es necesario primero definir una estructura con la cual gestionar los datos de análisis.

Así mismo, cuando se utiliza un método probabilístico como es el caso del Análisis de Cluster basado en Modelos o Análisis Discriminante para la clasificación, se puede calcular el grado de probabilidad de mejor coincidencia entre fragmentos (Wilczek, 2017: 78). El planteamiento meta-sistémico de la sociedad parte de la analogía biológica, y nos permite definir formaciones sociales complejas y organizadas, definidas principalmente por su relación con el contexto espacial y por el desarrollo de ciertas funciones básicas como son su mantenimiento, la interrelación de sus sub-sistemas compositivos y la reproducción de la propia estructura. Se trata por tanto de un sistema autopoyético, definido más bien por su organización que por un conglomerado de funciones (Maturana, 1997; Negre: 2014: 8)

## CONCLUSIONES

La forma y lo que podríamos denominar en castellano “distribución geométrica” (*shape*), evidencian trayectorias sinusoidales de los contornos (ver anexo, Gráfico 4), según valores cuantitativos que responden claramente a la distribución e interacción entre las partes o *slices*, con los cuales si es posible definir la forma de los recipientes de simetría axial. Estas interacciones dependen básicamente de un patrón logarítmico existente entre altura y anchura. Estos valores representados en coordenadas cartesianas y organizados en matrices de datos, efectivamente permiten una cómoda manipulación de los datos, con resultados bastante eficientes.

Desde la perspectiva estadística, el centroide como concepto puramente geométrico, depende de la forma del sistema, mientras que el centro de masas depende de la distribución de material. En el caso de un recipiente, la distribución del contenido interior, lo cual para el caso de un recipiente de simetría axial, el centro de masa siempre se situaría en la base del eje central.

Por otra parte, es un hecho comprobado que el volumen es derivable del tamaño  $f(y)$ , mientras que el baricentro desde su forma  $f(x)$ . A partir de esta premisa podemos basar el análisis formal de formas bidimensionales, con un punto de origen común, que para el caso de este trabajo se a definido como el la superficie interior ubicada en el axial de simetría. Esto nos evita rotar y trasladar la forma a través del análisis procusto, para luego solo escalar las formas a proporcionalidades circunscritas.

El método resulta cómodo y sencillo, el cual puede ser gestionado para el análisis de manera abierta y versátil. Pese a que no se realizaron mayor número de pruebas estadísticas, estas pueden ser llevadas a cabo según las exigencias, en un mismo u otro conjunto susceptible de análisis sin comprometer la propia estructura del método.

No solo el análisis de la forma es importante en un método de clasificación, sino también se hace necesario discriminar individuos por tamaños, así como la utilidad de estimar dichas características dimensionales en fragmentos informes (ver anexo, Tabla 2). La utilidad práctica de estos resultados, permite tener una visión precisa de la carga energética para la cual se destinó un determinado recipiente, además de otros aspectos intrínsecos del propio perfil, como la estimación de pesos específicos.

Ahora bien, la alimentación de una base de datos donde se contengan valores cuantitativos de las características formales de los objetos, permite poseer un potente soporte con suficiente información para entrenar redes neuronales artificiales. Estas redes neuronales artificiales, en la actualidad son el sistema que está dando mejores resultados en el ámbito de reconocimiento automático de formas. En este sentido, el uso específico de la visión computarizada en la investigación, no debería ser la reproducción de la realidad tal y como parece ser a nuestra vista, sino una forma de traducir la datos percibidos sensorialmente en un modelo explicativo de los mismos (Barceló y Vicente, 2011: 54).

Finalmente, este tipo de iniciativas a la cual he optado por denominar MEDRAC (Método Descriptivo de Recolección y Análisis Cerámico), es un intento por estandarizar la gestión de bases de datos de cara al análisis de formas cerámicas, la cual puede ser enfocada de diferentes perspectivas a partir de una estructura común.

## BIBLIOGRAFÍA

BARCELÓ, J. A. (2007) *Arqueología y Estadística 1: introducción a la variabilidad de las evidencias arqueológicas*. Universidad Autónoma de Barcelona, Departamento de Prehistoria. Barcelona, ISBN 978-84-490-2494-8

BARCELÓ, J. A. (2009) *Computational Intelligence in archaeology*. Information Science Reference, Hershey: New York. ISBN 978-1-59904-489-7

BARCELÓ, J.A., Moitinho de Almeida, V. (2012) Functional analysis from visual and non-visual data. An artificial intelligence approach. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*.

BARCELÓ, J., VICENTE, O. (2011) Qué hacer con un modelo arqueológico virtual. Aplicaciones de la inteligencia artificial en visualización científica. VAR. Volumen 2 Número 4. pp. 53-57

BENÍTEZ, H. A. & PÜSCHEL, T. A. (2014) Modelando la varianza de la forma: morfometría geométrica aplicaciones en biología evolutiva. *Int. J. Morphol.*, 32(3): p. 999.

BONS, P.D., KOEHN, D., JESSEL, M.W. (2010) *Lecture Notes in Earth Sciences*. ISBN 9783540958529.

BOOKSTEIN, F. L. (1991) *Morphometric Tool for Landmark Data. Geometry and Biology*. Cambridge, Cambridge University Press.

BOOKSTEIN, F. L. (1997) Landmark methods for forms without landmarks: Localizing group differences in outline shape. *Med Image Anal* 1:225-243.

CABANILLAS DE LA TORRE, G. (2011) *Más allá de la tipología. Herramientas para un enfoque funcional de la cerámica protohistórica*. *Estrat Crític* 5.Vol.2 (2011) p. 277.

CHARLIN, J., HERNÁNDEZ, M. I. (2016) Morfometría geométrica y representaciones rupestres: explorando las aplicaciones de los métodos basados en landmarks. *Arqueología* 22(1): 103-125.

CLARKE, D. (1968) *Arqueología Analítica*. Ed. Bellaterra S.A.; Barcelona, 1984. ISBN 84-7290-040-1

CONTRERAS, F. (1984) Clasificación y tipología en Arqueología. El camino hacia la cuantificación. Cuadernos de Prehistoria Universidad de Granada. No 9. Granada. pp. 327-385

CONTRERAS, F., CAPEL, J., ESQUIVEL, J. A., MOLINA, F., de la TORRE, F. (1988) Los ajueres cerámicos de la necrópolis argárica de la Cuesta del Negro (Purullena, Granada). Avance al estudio analítico y estadístico. Cuadernos de Prehistoria Universidad de Granada. No 12- 13. Granada. pp.135-155

- CUADRAS, C. M. (1981) *Métodos de Análisis Multivariante*. Eunibar: Barcelona.
- DAWNKINS, R. (1976) *El Gen Egoísta: las bases de nuestra conducta*. Ed. Salvat: Barcelona, 2002.
- GILBOA, A., KARASIK, A., SHARON, I., SMILANSKY, U. (2004) Towards computerized typology and classification of ceramics. *Journal of Archaeological Science* 31, p.p. 681- 694.
- GOODALL, C. (1991) Procrustes methods in the statistical-analysis of shape. *J. R. Stat. Soc. B.*, 53(2):285-339.
- DRYDEN, I. L. & MARDIA, K. V. (1998) *Statistical Shape Analysis*. Chichester, John Wiley and Sons Ltd.
- EIROA, J. (1995) *Prehistoria de la región de Murcia*. Universidad de Murcia. Servicio de Publicaciones, Murcia.
- EIROA, J., BACHILLER, J., PÉREZ, L., LOMBA, J. (1999) *Nociones de tecnología y tipología en Prehistoria*. Ariel: Barcelona, 2011.
- ELEWA, A. (2010) *Morphometrics for Nonmorphometricians*. Springer Science & Business Media.
- ESTÉVEZ, J., LULL, V. (1984) Aplicación de la biometría elemental al análisis cerámico. I Jornadas de Metodología de Investigación Prehistórica. Soria 1981. Madrid.
- ESTÉVEZ, A. GUASCH, J. (2005) *Matemáticas, diccionario esencial*. Ed. Larousse, S. L.: Barcelona, 2011. ISBN 978-84-9974-001-0
- ESQUIVEL, J. A., CONTRERAS, F. (1984) Una experiencia arqueológica con microordenadores. Análisis de componenetes Principales y Clusterización: Distancias Euclídeas de Mahalanobis. Congreso Nacional XIV de Estadística, Investigación Operativa e Informática. Granada.
- FERNÁNDEZ, V. (1989) *Teoría y Método de la Arqueología*. Ed. Síntesis, Madrid: 2000. ISBN 84-7738-076-7
- FERNÁNDEZ, V. (2015) *Arqueo Estadística: métodos cuantitativos en arqueología*. Ed. Alianza, Madrid.
- FRANCOVICH, R., MANACORDA, D. (2001) *Diccionario de Arqueología*. Crítica, Barcelona.
- GERO, J., MAZZULLO, J. (1984) Analysis of artifact shape using Fourier series in closed form, *Journal of Field Archaeology* 11 (3) (1984) 315–322.
- JACKSON, J. E. (1991) *A User's Guide to Principal Components*. John Wiley and Sons.

JOLLIFFE, I. T. (2002) *Principal Component Analysis*, second ed. Springer Series in Statistics.

KARASIK, A., SMILANSKYA, U. (2011) Computerized morphological classification of ceramics. *Journal of Archaeological Science* 38, pp. 2644 - 2657.

LAMOLDA ÁLVAREZ, F. y CANO OLIVARES, P. (2009) “Registro mediante la utilización del escáner láser 3D del estado previo a la intervención de la Fuente de los Leones”. Feria de Industrias Culturales Andaluzas, Sevilla.

LIMING, G., HONGJIE, L., WILCOCK, J. (1989) The analysis of ancient Chinese pottery and porcelain shapes: a study of classical profiles from the Yangshao culture to the Qing dynasty using computerized profile data reduction, cluster analysis and fuzzy boundary discrimination, *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, pp. 363–374.

MAÑANA-BORRAZÁS, P.; RODRÍGUEZ PAZ, A. y BLANCO-ROTEA, R. (2008): “Una experiencia en la aplicación del Laser Escáner 3D a los procesos de documentación y análisis del patrimonio Construido: su aplicación a Santa Eulalia de Bóveda (Lugo) y San Fiz de Solovio (Santiago de Compostela)”. En *Arqueología de la Arquitectura*, 5: 15-32.

MATURANA, H. (1997). *De Máquinas y Seres Vivos, autopoiesis de la organización de lo vivo*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria.

MAYET, F. (1975) *Les Céramiques A Parois Fines Dans La Péninsule Ibérique*. Paris, 1975.

MELERO, F.J., Torres J.C., León, A. (2003) On the interactive 3D reconstruction of iberian vessels, In 4th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage, VAST03. F. Niccolucci; D. Arnold, A. Chalmers (Eds.)

NEGRE, J. (2014) Implementación de Redes Neuronales Artificiales en el diseño de modelos predictivos de expectativa arqueológica. *REVISTA MAPPING* Vol. 23, 165, 4-16 mayo-junio 2014.

OLMO ENCISO, L.; CASTRO PRIEGO, M. y LÓPEZ MACIA, M. (2012): “La utilización del láser Scannner en el registro arqueológico: La experiencia de la Universidad de Alcalá”. En *Virtual Archeology Review*, 3 N° 5: 93-97.

ORTON C. (1988) *Matemáticas para Arqueólogos*. Ed. Alianza, S.A.: Madrid. ISBN 84-206-2522-1. Título original: “*Mathematics in archaeology*”. Wiliam Collins sons & Co. Ltd., 1980. Traducido por Víctor M. Fernández Martínez.

PERALTA, J. (2008) *Cerámicas hipanorromanas: Un estado de la cuestión*. Universidad de Cádiz. pp. 497 – 540.

RICHARDS, J. D., RYAN, N. S. (1985) *Data Processing in Archaeology*. Cambridge University Press.

RÍSQUEZ, C., HORNOS, F., RUIZ, A., MOLINOS, M. (1991) Aplicación del análisis multivariante: una propuesta de tipología contextualizada. *Cumplutum*, I. Madrid (pp. 83 – 98)

RUIZ, A., MOLINOS, M. (e.p.) Informe sobre el estudio de materiales de la campaña de excavación (1988) sistemática en el Cerro de la Plaza de Armas de Puente Tablas. A.A.A.

ROHLF, F.J., SLICE, D.E. (1990) Extensions of the Procrustes method for the optimal superimposition of landmarks. *Systematic Zoology* 30, pp. 40-59.

ROHLF, F.J. (1990) Rotational fit (Procrustes) methods. In: *Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop*, University of Michigan Museum of Zoology.

SANTAGATI, C. (2014): “*Metodologie digitali per il rilievo e la valorizzazione del patrimonio culturale ipogeo*”. En *Virtual Archaeology Review*, 5 N° 10: 82-92.

SÁENZ, J. (1997) *La Terra Sigillata Hispánica del Municipium Augusta Bibilis*. Dpto. Ciencias de la Antigüedad. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Zaragoza.

SELDEN, R., PERTTULA, T., O'BRIEN, M. (2015) *Advances in documentation, digital curation, virtual exhibition, and a test of 3D geometric morphometrics: a case study of the Vanderpool vessels from the ancestral Caddo territory*. Cambridge University Press. *Advances in Archaeological Practice* Vol. 2, núm. 2, pp. 64-79.

SHENNAN, S. (1988) *Arqueología Cuantitativa*. Ed. Crítica: Barcelona, 1992. Traducido por Juan Antonio Barceló. ISBN 84-7423-529-4

SMALL, C. G. (1996) *The statistical theory of shape*. New York, Springer - Verlag.

SNEATH, P. H. A. y SOKAL, R. R. (1973): *Numerical Taxonomy. The principles and practice of numerical classification*, W. H. Freeman & Co., San Francisco.

TORCIDA S., PÉREZ, S. I. (2012) *ANÁLISIS DE PROCRUSTES Y EL ESTUDIO DE LA VARIACIÓN MORFOLÓGICA*. *Revista Argentina de Antropología Biológica* Volumen 14, Número 1, Páginas 131-141.

TORO, M., MANRRIQUEZ, G., SUAZO, I (2010) *Morfometría Geométrica y el Estudio de las Formas Biológicas: De la Morfología Descriptiva a la Morfología Cuantitativa*. *Int. J. Morphol.*, 28(4):977-990.

TUKEY, J. W. (1980) We Need Both Exploratory and Confirmatory. *The American Statistician*, Vol. 34, No. 1, (Feb., 1980), pp. 23-25

VAN DER MOLEN, S., MARTÍNEZ, N., GONZÁLEZ, R. (2007) *Introducción a la Morfometría Geométrica: Curso Teórico-Práctico*. Centro Nacional Patagónico, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Universidad de Barcelona, Facultad de Biología, Unitat d'Antropología.

WILCOCK, J. D., SHENNAN, S. J. (1974) *The computer Analysis of Pottery Shapes with Application to Bell Beaker Pottery*. George St. Press, Stafford. Science and Archaeology nº 11.

WILCZECK, J. (2017) *New Approaches for the Acquisition, Systematisation and Interpretation of Archaeological Artefacts*. Masarykova University Filozofická Fakulta ÚAM, Université de Bourgogne Franche-Comté Artheis.

WILLIS, A. R. (2004) *Stochastic 3D Geometric Models for Classification, Deformation, and Estimation*. PROVIDENCE, RHODE ISLAND, U.S.A.

ZELDITCH, M., SWIDERSKI, D.L., SHEETS, H.D., FINK, W.L. (2004) *Geometric Morphometrics for Biologists*. Elsevier Academic Press, New York, London, p. 443

### **Páginas Web**

R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

SELDEN, R. (2017) SELDEN3D | Local research. Global impact.™ E.E.U.U.: <https://selden3d.com>. Fuente consultada el 19 de agosto de 2017, 20:47h.

### **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a todos los que me ayudaron en el proceso de desarrollo de este trabajo, en especial a mi Tutor de Tesis Dr. Jaume Buxeda Garrigós por la gran disposición que a prestado a todo el proceso. También al Dr. Joan Barceló de la Universidad Autónoma de Barcelona, por la desinteresada ayuda de atender mis dudas y por la inspiración de su trabajo. Agradezco a Ramón Álvarez del Departamento de Arqueología e Historia Antigua, por el apoyo moral y la confianza depositada a lo largo de estos últimos tres años en la Casa. También he de agradecer al Ministerio de Educación y Cultura, que gracias a la Beca General, pude obtener el ordenador necesario para la realización tanto técnica como de edición del presente trabajo.

## ANEXOS

1.-

<b>Individuos</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>
D11 ci.txt	354,6286236
D1105 ci.txt	855,2206764
D1106 ci.txt	837,8104011
D116 ci.txt	89,27641292
D117 ci.txt	88,45864366
D12 ci.txt	426,3022388
D122 ci.txt	92,66507336
D128 ci.txt	308,4033774
D135 ci.txt	99,54642933
D161 ci.txt	44,25757652
D169 ci.txt	230,4874214
D176 ci.txt	68,84250289
D178 ci.txt	43,10136981
D179 ci.txt	45,64519772
D186 ci.txt	223,5258991
D193 ci.txt	218,6877524
D201 ci.txt	1883,006965
D21 ci.txt	197,2932386
D227 ci.txt	304,8978828
D228 ci.txt	309,9844447
D41 ci.txt	388,1232548
D42 ci.txt	394,4538113
D449 ci.txt	5077,362069
D475 ci.txt	1454,37842
D53 ci.txt	239,0442908
D54 ci.txt	369,2567114
D57 ci.txt	359,6553901
D58 ci.txt	325,2099742
D684 ci.txt	1064,395849
D73 ci.txt	91,14214084
D83 ci.txt	70,300415
D907 ci.txt	346,8855564
TSH4.14 ci.txt	279,1380674
TSH4.16 ci.txt	373,0431069
TSH4.19 ci.txt	1382,975232
TSH4.26 ci.txt	2683,697278
TSH4.29 ci.txt	1277,750568
TSH4.31 ci.txt	978,1834214
TSH4.36 ci.txt	1085,552454
TSH4.8 ci.txt	153,3952839

Tabla de volúmenes interiores.



2.-

<b>Individuos</b>	<b>Volumen perfil (cm<sup>3</sup>)</b>
D11 ce.txt	127,574366
D1105 ce.txt	172,7398603
D1106 ce.txt	216,8841217
D116 ce.txt	55,38646632
D117 ce.txt	57,44981829
D12 ce.txt	113,873538
D122 ce.txt	49,10344117
D128 ce.txt	149,329569
D135 ce.txt	47,96216056
D161 ce.txt	45,05927385
D169 ce.txt	129,3604277
D176 ce.txt	36,38662955
D178 ce.txt	42,54778643
D179 ce.txt	43,38393029
D186 ce.txt	279,2674709
D193 ce.txt	269,3186559
D201 ce.txt	1240,905509
D21 ce.txt	93,66316618
D227 ce.txt	107,4155376
D228 ce.txt	111,0171901
D41 ce.txt	199,9374652
D42 ce.txt	203,648191
D449 ce.txt	1090,963042
D475 ce.txt	417,8021522
D53 ce.txt	246,4550732
D54 ce.txt	231,7103615
D57 ce.txt	207,0331367
D58 ce.txt	254,2440898
D684 ce.txt	337,4084394
D73 ce.txt	42,11915333
D83 ce.txt	39,16480033
D907 ce.txt	146,6123338
TSH4.14 ce.txt	76,30813447
TSH4.16 ce.txt	129,4599322
TSH4.19 ce.txt	296,944719
TSH4.26 ce.txt	463,3352121
TSH4.29 ce.txt	207,4356771
TSH4.31 ce.txt	177,3067137
TSH4.36 ce.txt	231,2622919
TSH4.8 ce.txt	122,0520988

Tabla de volúmenes de perfil.

3.-

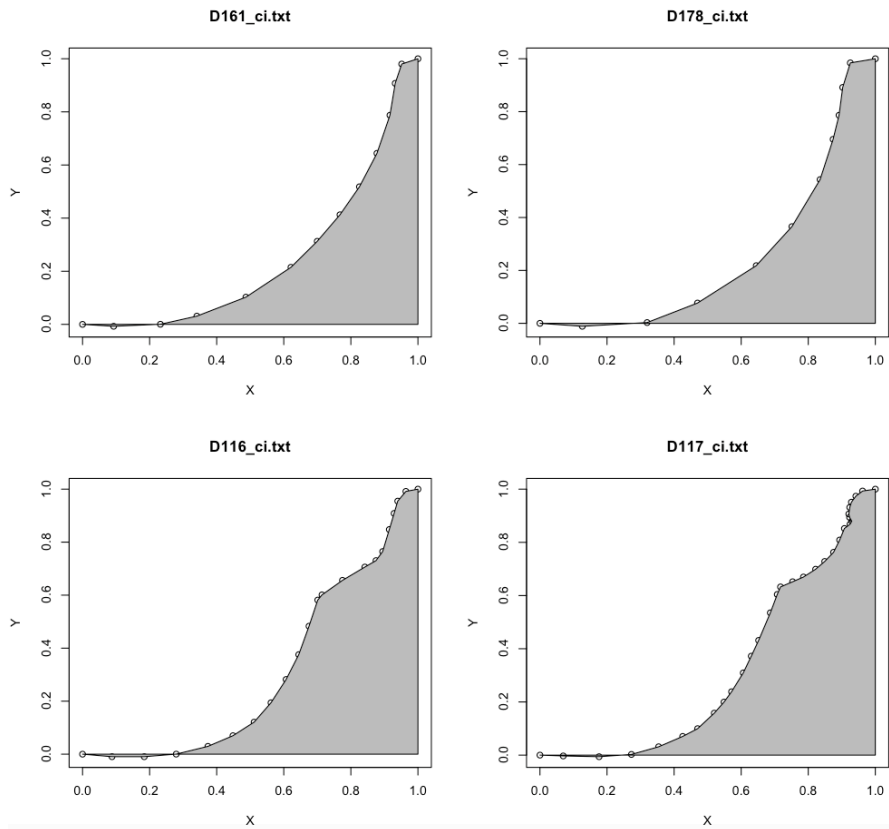


Gráfico de área bajo la curva. R Core Team (2017).

4.

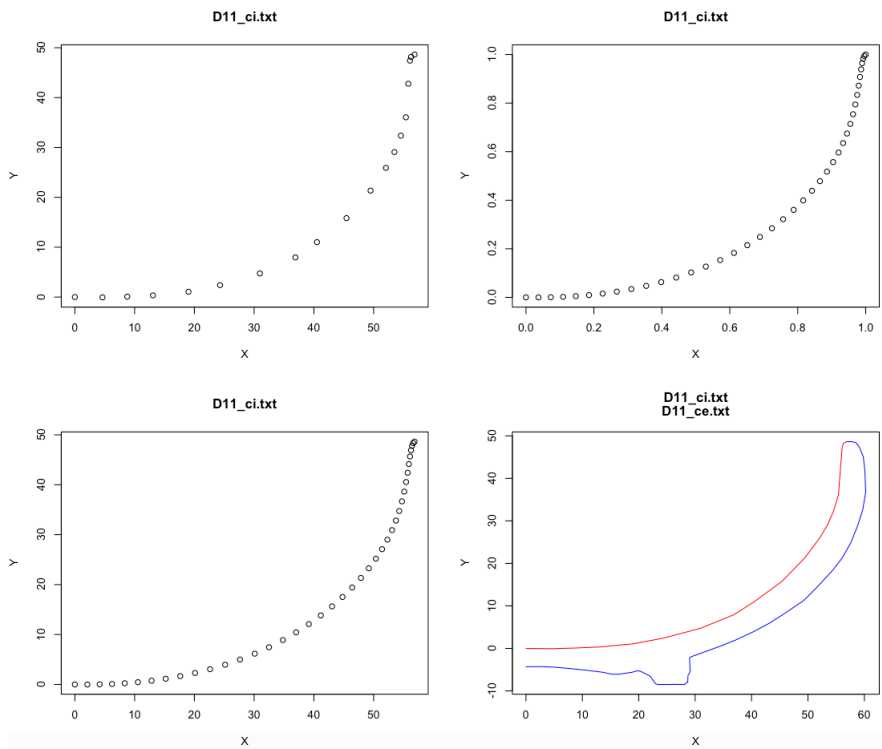


Gráfico de perfiles. Matriz nativa de perfil interior (superior izquierda), matriz interpolada de perfil interior (inferior izquierda), matriz interpolada y normalizada de perfil interior (superior derecha), matriz nativa de perfil interior en rojo y perfil exterior en azul (inferior derecha). R Core Team (2017).

5.-

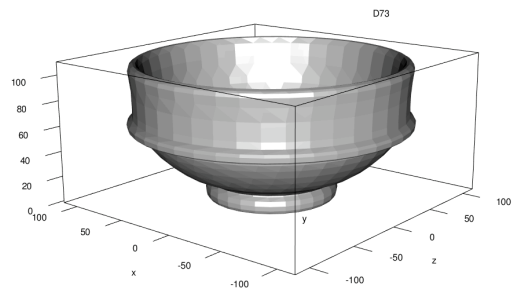


Gráfico tridimensional de objeto D73 en formato PLY, obtenido en AutoCAD a partir del contorno en revolución. R Core Team (2017).

6.-

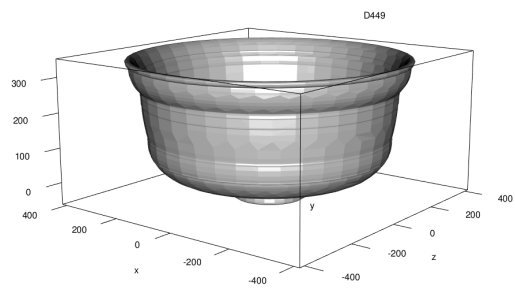


Gráfico tridimensional de objeto D449 en formato PLY, obtenido en AutoCAD a partir del contorno en revolución. R Core Team (2017).

7.-

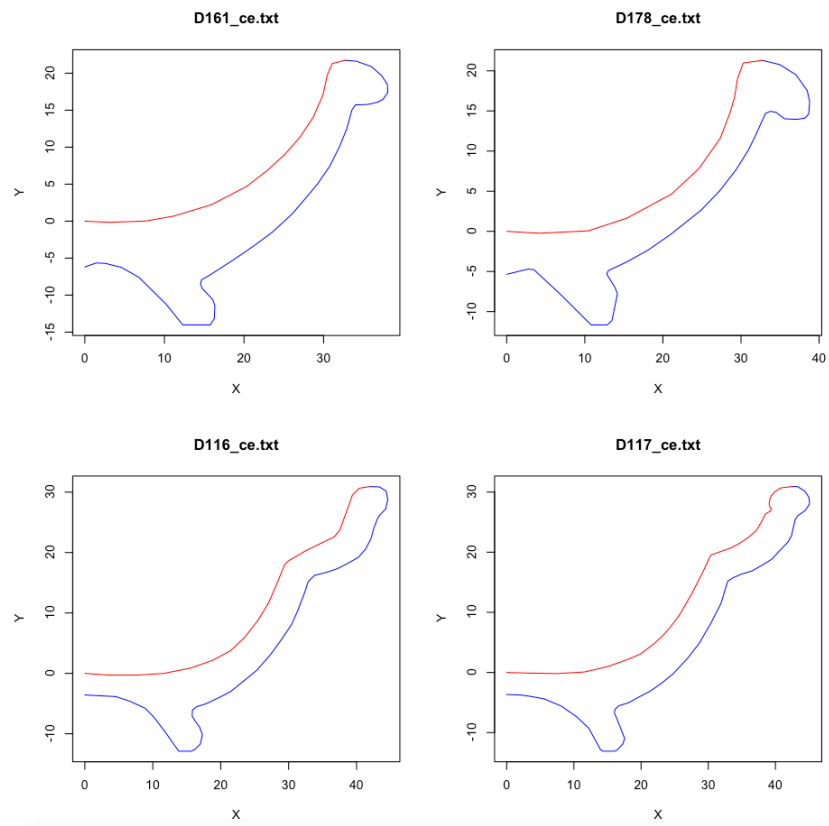


Gráfico comparativo de formas nativas. R Core Team (2017).

8.-

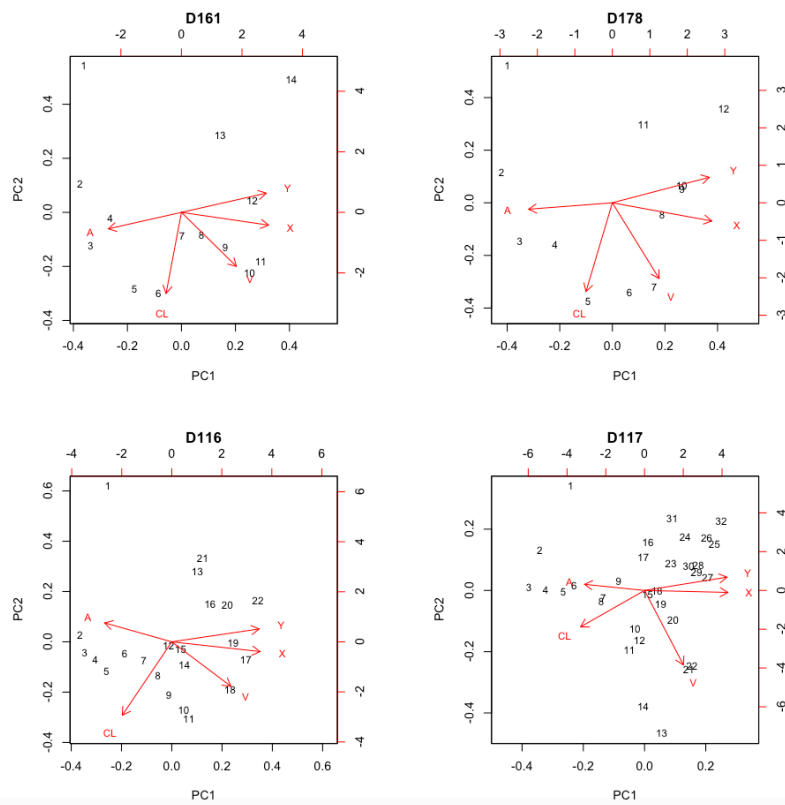


Gráfico bidimensional de componentes principales (ACP) y sus respectivos *eigen*vectores. R Core Team (2017).

9.-

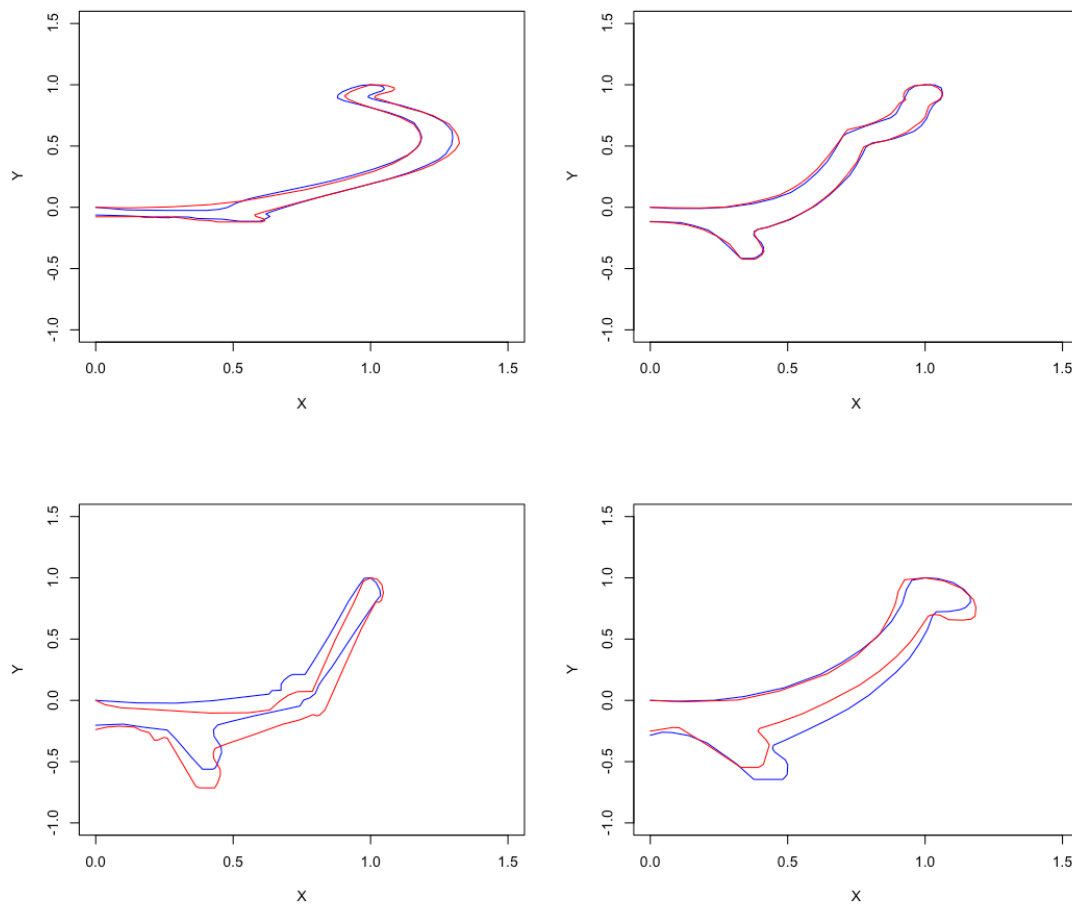


Gráfico de comparación visual. Individuos obtenidos del cluster morfológico: D227 / D228 (superior izquierdo), D41 / D42 (inferior izquierdo), D116 / D117 (superior derecho) y D161 / D178 (inferior derecho). R Core Team (2017).

10.-

	mean radio	median eight	contour length	sd angle	volume (cm3)
D11 ci.txt	37,55353158	15,8288	85,66598327	43,17412854	354,6286236
D1105 ci.txt	53,26596667	22,24915	119,0747396	34,32105578	855,2206764
D1106 ci.txt	53,35534444	32,6088	121,5189105	34,64902105	837,8104011
D116 ci.txt	26,52626818	16,4528	57,96633567	38,4484262	89,27641292
D117 ci.txt	28,8195125	19,8433	58,4591744	36,82212802	88,45864366
D12 ci.txt	37,60354	11,3671	94,22606972	43,6074514	426,3022388
D122 ci.txt	26,300795	10,9314	56,61551391	41,84044048	92,66507336
D128 ci.txt	39,48755	18,2246	84,30058904	35,51841405	308,4033774
D135 ci.txt	27,02117826	18,2444	58,96078104	37,70774707	99,54642933
D161 ci.txt	20,40522857	7,88475	43,24346901	45,75628809	44,25757652
D169 ci.txt	37,52086111	8,735	73,24821804	44,23642361	230,4874214
D176 ci.txt	27,53215	8,69425	51,63352609	42,82699281	68,84250289
D178 ci.txt	21,11204167	9,6819	43,82878588	49,42920399	43,10136981
D179 ci.txt	21,68843846	14,7785	47,08094464	47,38067979	45,64519772
D186 ci.txt	41,83645	2,75885	75,75845064	44,74365307	223,5258991
D193 ci.txt	41,85658824	0	75,67653813	43,49944659	218,6877524
D201 ci.txt	84,850052	17,283	156,5819645	37,18449577	1883,006965
D21 ci.txt	35,483995	9,4713	70,64249728	45,73448168	197,2932386
D227 ci.txt	29,29268065	31,382	105,828777	41,69250451	304,8978828
D228 ci.txt	30,91423478	36,168	101,9872532	43,40685076	309,9844447
D41 ci.txt	50,553735	5,57585	91,93068094	42,88770724	388,1232548
D42 ci.txt	43,1236	0	91,11585168	46,02630318	394,4538113
D449 ci.txt	105,0233594	47,95145	219,8651839	36,73706711	5077,362069
D475 ci.txt	72,55740741	39,903	140,1176599	36,6285885	1454,37842
D53 ci.txt	51,055925	6,4997	83,31689884	78,39939833	239,0442908
D54 ci.txt	52,64928235	0,9275	91,22744212	43,71687509	369,2567114
D57 ci.txt	50,67607727	3,1643	89,07199928	40,75999989	359,6553901
D58 ci.txt	55,47160526	4,6843	90,79098859	43,14143221	325,2099742
D684 ci.txt	53,9548	12,53435	125,7550253	46,02205055	1064,395849
D73 ci.txt	25,17614211	13,3048	55,36291205	40,12531708	91,14214084
D83 ci.txt	22,84721	6,3221	49,67469946	38,04280698	70,300415
D907 ci.txt	36,26509474	16,3516	89,14733596	44,51152705	346,8855564
TSH4.14 ci.txt	30,29482	4,5941	83,19757476	35,80634715	279,1380674
TSH4.16 ci.txt	31,65870333	6,1179	96,62067802	37,81236377	373,0431069
TSH4.19 ci.txt	58,34111429	21,5247	139,0699404	34,84635817	1382,975232
TSH4.26 ci.txt	87,90672	38,1957	173,8597322	39,61208652	2683,697278
TSH4.29 ci.txt	63,59589474	31,1764	136,2857754	31,73290434	1277,750568
TSH4.31 ci.txt	57,40213333	41,1763	128,0379394	34,3707401	978,1834214
TSH4.36 ci.txt	52,6275	25,3574	134,3378852	32,56153509	1085,552454

Tabla de resultados finales (trama resumen de datos).

11.-

**UTILLAJE APARECIDO EN LOS YACIMIENTOS  
DE LA COSTA MURCIANA (PALEOLÍTICO MEDIO)**

(\*) Según "Lista Tipo" de la clasificación de Bordes

*NUM. DENOMIN. UTILLAJE	CUEVA DEL PALOMARICO	HOYO PESCADOR RES	CUEVA BERMEJA	LA PENICA	C. AVIONES				C. PERNERAS				TOTAL
					Niveles: I / II / III / IV				Niveles: VI / VII / VIII / IX				
1 Lasca leval. típica	4				1	4	1	1	2	4	4	5	26
2 Lasca leval. atípica										1		1	2
3 Punta leval.		1	1						1			1	4
4 Punta leval. retocada										1			1
5 Punta pseudo-leval.					1					1		3	5
6 Punta muste-riense		4		1	1				1				7
7 Punta mustier. alargada						1	1						2
9 Raedera simple recta	3	1		1	1	3	4	3	3	5	2	2	28
10 Raedera simple convexa	1				1				1	1	3	6	13
11 Raedera simple cóncava								1			1		2
12 Raedera doble recta							1			1		3	5
13 Raedera doble recto-convexa		1		1					2		1		4
17 Raedera cóncavo-convexa										1			1
18 Raedera convexa recta							1	1					2
19 Raedera convexa convexa					1								1
21 Raedera ladeada										1			1
22 Raedera transv. recta		1		2	1	3		1	1	1			10
23 Raedera transv. convexa				1					1	1			3
24 Raedera transv. cóncava				1									1
26 Raedera relouque abrupto				2									2
30 Raspador típico			4							1			5
31 Raspador atípico			1		1							1	3
32 Buril típico			2									2	4
34 Perforador típico				3									3
35 Perforador atípico									1				1
36 Cuchillo dorso típico		5			1	2		3	1	1	1	11	25
37 Cuchillo dorso atípico												2	2
38 Cuchillo dorso natural				4	1	2			5	4	3		19
40 Lasca truncada				1									1
41 Lanchet					1			1					2
42 Escota-dura	4	1	6	5	1				2	1	1	1	22
43 Denticulado			12	1	1	1	1	1	2	4		8	30
44 Bec burinant				1						1			2
51 Punta de Tavas				1	1								2
56 Cepillo	2				1				1	1		2	7
59 Canto trabaj.	2			3								1	6
61 Canto tr. bifac					2								2
62 Varios				2	2	3	1					3	11
TOTAL:...	16	14	26	31	14	22	10	13	18	31	19	53	267

Tabla de lista tipo. (EIROA, 1995: 41)

12.-

```
#####
#####
##### FUNCIONES #####
#####
#####
```

```
### Volumen ###
```

```
F1<-function (x) {
  Fa<-print(x[2:nrow(x),1]^2*pi*x[2:nrow(x),2])
  Fb<-print(x[1:nrow(x)-1,1]^2*pi*x[2:nrow(x),2])
  V<-print((Fb-Fa)/2+Fa)
} ; V<- F1(      ) ### VOLUMEN ###
```

```
#####
```

```
### Angulo pared ###
```

```
F2<-function(x) {
  X=(x[1:nrow(x)-1,1]-x[2:nrow(x),1])
  H=sqrt((x[1:nrow(x)-1,1]-x[2:nrow(x),1])^2+x[2:nrow(x),2]^2)
  R=(X/H)
  A=print(acos(R)*180/pi)
} ; A<-F2(      ) ### ANGULO ###
```



```
#####
```

```
### Longitud de pared ###
```

```
F3<-function(x) {
```

```
  C1=(x[1:nrow(x)-1,1])-(x[2:nrow(x),1])^2
```

```
  C2=(x[2:nrow(x),2])^2
```

```
  H=print(sqrt(C1+C2))
```

```
} ; H<-F3(          ) ### HIPOTENUSA ###
```

```
#####
```

```
### Valores de los catetos contiguo y opuesto ###
```

```
TP<-function (x) {
```

```
  C1=(x[1:nrow(x)-1,1])-(x[2:nrow(x),1])
```

```
  C2=(x[2:nrow(x),2])
```

```
  C1C2<-print(cbind(C1,C2))
```

```
} ; C<-TP(          ) ### CATETO CONTIGUO - CATETO OPUESTO ###
```

### 13.- Documentación anexa

Durante verano de 2016 mientras se diseñó y probaron algunas fases del algoritmo, así mismo se observaron errores en los resultados cuando fueron comparados con los valores devueltos por AutoCAD. El método empleado se basa en la ecuación de cálculo volumétrico en cilindros<sup>2</sup>, para el cual se utiliza la siguiente fórmula, donde V representa el volumen, r el radio y h la altura:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Ahora bien, como vemos en la imagen anterior (Fig. 1) los *puntos de referencia* o *landmarks*, serían aquellos puntos distribuidos en la trayectoria de las paredes interiores, los cuales describirían puntos de inflexión unidos al axial central formando un eje de 90°, posicionando la recta de forma paralela respecto al anterior nodo. Dichas distancias verticales representan la coordenada Y (líneas verdes) que son fracciones de un valor total *altura*. De esta manera y como podemos observar en la imagen, a medida que el siguiente nodo se encuentra a una distancia diferencial del anterior, se proyecta un segmento (azul), el cual describe un determinado ángulo y representa la hipotenusa o longitud de la pared interior, formando así un triángulo rectángulo junto a los valores de  $X_i = (X_1 - X_n)$  e Y respectivamente (Fig. 1).

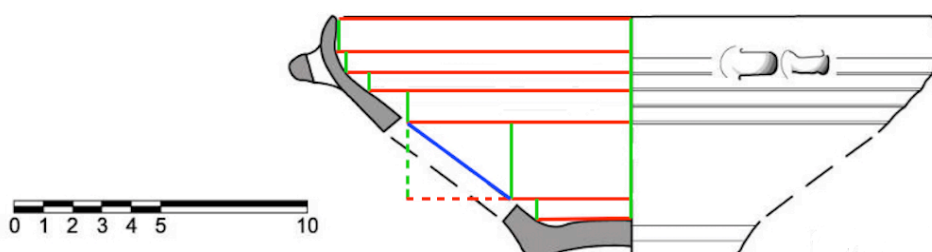


Fig. 1 Nodos: X (rojo), Y (verde), hipotenusa (azul)

Para calcular el volumen de estos espacios "triangulares" nos valdremos de una corrección a partir del teorema de Pitágoras, que establece que en todo triángulo rectángulo, el cuadrado de la longitud de la hipotenusa es igual a la suma de los cuadrados de los catetos.

En este sentido, es necesario restar a las áreas exteriores el valor interior (cilindro central) para producir un anillo en revolución a través de las áreas exteriores<sup>3</sup>. De esta manera calculamos el volumen con la misma fórmula de cilindros, considerando el volumen contenido entre unos límites imaginarios (líneas discontinuas rojas y verdes), finalmente el valor total de la corrección se divide por dos.

De abajo hacia arriba, las líneas rojas representan segmentos que unen los nodos  $X_0$ ,  $X_1$ ,  $X_3$ ,  $X_4$ , ...  $n$  y sus respectivos  $Y_0$ ,  $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_4$ , ...  $n$ . La siguiente tabla muestra un ejemplo, en dónde por comodidad, las operaciones se realizan de arriba hacia abajo:

<sup>2</sup> Esteves, A. Guash, J. (2005) p. 41 - 44

<sup>3</sup> Este error fue observado en "Tipología cerámica" 2014. Trabajo realizado para la asignatura de Metodología Arqueológica III (Dr. Javier López Cachero), en donde se obtuvieron resultados volumétricos incorrectos, menores que la capacidad real.

	X	Y	Fa	Fb	Total Cm <sup>3</sup>
$x_0$	0.0	0.0	-	-	-
$x_1$	3.6	0.4	16.28602	0.00000	8.143008
$x_2$	5.4	1.2	109.93061	48.85805	79.394330
$x_3$	7.4	1.6	275.25378	146.57415	210.913964
$x_4$	9.4	2.4	666.21870	412.88067	539.549689
$x_5$	9.4	1.4	388.62758	388.62758	388.627578
$x_6$					1226.629

Tabla 1. Estructura matricial CPR-852-2B. Trabajo realizado para la asignatura de Metodología Arqueológica III (Dr. Javier López Cachero)

Las funciones para calcular los respectivos volúmenes del cilindro central ( $Fa$ ) y anillo exterior ( $Fb$ ) son las siguientes:

$$Fa = (\pi \cdot X_1^2 \cdot Y_1)$$

$$Fb = (\pi \cdot X_2^2 \cdot Y_1)$$

$$Cm^3 = \sum_{i=0}^n \frac{(Fb - Fa)}{2} + Fa$$

Una vez obtenidos los datos, procedemos a volcar la información en plantillas Excel donde figuren los valores de las respectivas coordenadas X e Y (Tabla 1), abrimos nuestra consola Rproject y cargamos los datos en formato CSV.

```
> E0<-read.table("/Users/XXXX_XXXX/Desktop/E0.csv"),
header=T,dec=".", sep=";", row.names=1)
```

```
> E0
```

```
      X      Y
X0    0.0    0.0
X1    3.6    0.4
X2    5.4    1.2
X3    7.4    1.6
X4    9.4    2.4
X5    9.4    1.4
```

```
> F1<-function (x) {
  Fa=print(x[2:6,1]^2*pi*x[2:6,2])
  Fb=print(x[1:5,1]^2*pi*x[2:6,2])
  print((Fb-Fa)/2+Fa)
}
```

```

> F1(E0)
[1] 16.28602 109.93061 275.25378 666.21870
[5] 388.62758
[1] 0.00000 48.85805 146.57415 412.88067
[5] 388.62758
[1] 8.143008 79.394330 210.913964 539.549689
[5] 388.627578

> F2<-function(x) {
  X=(x[1:5,1]-x[2:6,1])
  H=sqrt((x[1:5,1]-x[2:6,1])^2+x[2:6,2]^2)
  R=(X/H)
  A=print(acos(R)*180/pi)
}

> F2(E0)
[1] 173.6598 146.3099 141.3402 129.8056 90.0000

> F3<-function(x) {
  C1=((x[1:5,1])-(x[2:6,1]))^2
  C2=(x[2:6,2])^2
  H=print(sqrt(C1+C2))
}

> F3(E0)
[1] 3.622154 2.163331 2.561250 3.124100 1.400000

Finalmente se devuelven los valores de hipotenusa, cateto contiguo y cateto opuesto:

> M<-cbind(F3(E0),(E0[1:5,1])-(E0[2:6,1]),E0[2:6,2])
> dimnames(M)<-list(NULL, c ("h", "C1", "C2"))
> M
      h      C1      C2
[1,] 3.622154 -3.6  0.4
[2,] 2.163331 -1.8  1.2
[3,] 2.561250 -2.0  1.6
[4,] 3.124100 -2.0  2.4
[5,] 1.400000  0.0  1.4

```