

LA DISCIPLINA ARQUEOMÉTRICA Y LA INVESTIGACIÓN DE LAS SOCIEDADES DEL PASADO A TRAVÉS DE LA CERÁMICA

The archaeometric discipline and the research of past societies through ceramics

MANUEL GARCÍA HERAS *

RESUMEN Esta contribución expone y discute algunas de las potencialidades de la disciplina arqueométrica en el estudio de los materiales cerámicos arqueológicos y su capacidad para generar y aportar conocimiento histórico sobre la tecnología de las comunidades del pasado. Entre los tres factores de variabilidad de un conjunto cerámico, como son el factor formal, el factor estilístico o decorativo y el factor tecnológico y compositivo, es en este último en el que la Arqueometría ha desarrollado más ampliamente, tanto herramientas teóricas como metodológicas. Se discute por qué y para qué se realiza la caracterización arqueométrica de materiales cerámicos, las técnicas instrumentales más habitualmente utilizadas, el tipo de datos que se obtienen y los niveles de información que contiene un artefacto cerámico. Finalmente, se reflexiona sobre lo que puede aportar la disciplina arqueométrica en el conocimiento tecnológico del material cerámico y sus secuencias de producción, así como sobre otros aspectos sociales de dichas comunidades.

Palabras clave: Cerámica, Arqueometría, Caracterización, Tecnología, Secuencia de producción.

ABSTRACT This contribution exposes and discusses some of the potentialities of the archeometric discipline in the study of archaeological ceramic materials and its capacity to generate and contribute historical knowledge on the technology of past communities. Among the three variability factors of a ceramic ensemble, namely the formal factor, the stylistic or decorative factor, and the technological factor, it is in this latter in which Archaeometry has more broadly developed, either theoretical or methodological tools. Why and for what the archeometric characterization of ceramic materials is carried out, the most commonly used instrumental techniques, the type of data obtained and the levels of information contained by a ceramic artifact are some of the issues here

* Instituto de Historia, IH-CSIC, Grupo CERVITRUM: Cultura Material y Patrimonio, Calle Albasanz 26-28, 28037 Madrid. manuel.gheras@cchs.csic.es

Fecha de recepción: 20-05-2020. Fecha de aceptación: 20-09-2020.

<http://dx.doi.org/10.30827/CPAG.v30i0.15371>

discussed. Finally, it is thought about what the archeometric discipline may contribute on the technological knowledge of ceramic material and its production sequences, as well as on other social aspects of these communities.

Keywords: Ceramics, Archaeometry, Characterization, Technology, Production Sequence.

INTRODUCCIÓN

Esta contribución surge a partir de un seminario organizado por el Dpto. de Protohistoria y Colonizaciones del Museo Arqueológico Nacional, celebrado en Madrid en noviembre de 2019. Este seminario fue patrocinado por el Dpto. de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada en colaboración con la Cátedra Iberoamericana de Estudios sobre Patrimonio e Industrias Culturales, y se centró en el poder de la tecnología para interpretar las sociedades del pasado.

La cerámica es un material que ha acompañado al ser humano desde tiempos inmemoriales. Hasta hace relativamente poco su aparición se asociaba a la revolución neolítica. Sin embargo, algunas investigaciones recientes parecen sugerir que es anterior a los procesos de sedentarización y domesticación y que ya estaba presente en algunos de los contextos de transformación cultural y medioambiental de finales del Pleistoceno, en el periodo Mesolítico. De hecho, la cerámica podría ser uno de los logros más importantes de este periodo, como sugieren algunas dataciones de hallazgos cerámicos en China, con fechas entre el 18300 y el 15400 cal BP (Boaretto *et al.*, 2009) y en el extremo oriental de Eurasia, en la cuenca del río Amur, con fechas en torno al 16000 cal BP (Derevianko *et al.*, 2004), que indican que la cerámica parece haber surgido ya en contextos del Paleolítico Final en Asia y que es ya un material muy extendido en asentamientos mesolíticos, como sugieren los hallazgos en la cuenca del Nilo en Sudán, con fechas del X milenio BP (Alfatih Hayati, 2018; Antonelli *et al.*, 2018). Por lo demás, la cerámica hace su aparición en Europa un poco antes de la agricultura, en contextos del VIII milenio BP (Rice, 1999).

Entre las características que tiene un material cerámico destacan su elevada durabilidad química y sus buenas propiedades mecánicas, lo que unido a que se trata del primer material sintetizado por el ser humano, es decir, el primer material artificial que no le brindaba la naturaleza y que, como se ha señalado, está presente en el registro arqueológico desde el Mesolítico, se trata por tanto de un material que ha perdurado y se ha conservado en buenas condiciones a lo largo del tiempo y al que, de una u otra forma, se tienen que enfrentar la mayoría de los investigadores de las sociedades del pasado puesto que se halla presente en el registro hasta las épocas más recientes. Desde su aparición, los materiales cerámicos han reflejado parte de la historia de las sociedades que los produjeron. De esta forma, mientras que en muchos lugares el modo de elaborar la cerámica apenas ha variado desde las primeras manifestaciones pre-neolíticas, en otros los materiales cerámicos han llegado a constituir industrias muy sofisticadas que fabrican productos para muy diversas aplicaciones (García Heras, 2012).

En este trabajo se exponen y discuten algunas de las potencialidades de la disciplina arqueométrica en el estudio de materiales cerámicos arqueológicos y su capacidad para generar y aportar conocimiento histórico sobre las comunidades del pasado. Cualquier conjunto cerámico de naturaleza arqueológica cuenta con tres factores de variabilidad: el factor tecnológico y compositivo, el factor formal y el factor estilístico o decorativo. La disciplina arqueométrica se centra específicamente en el primero de estos factores, el tecnológico y compositivo, y es en este factor de variabilidad en el que esta disciplina ha desarrollado más ampliamente, tanto herramientas teóricas como metodológicas (García Heras, 2013). Hay que señalar que la aproximación idónea al estudio de un conjunto cerámico determinado sería aquella que estudiara de forma interrelacionada los tres factores, aunque en la práctica son muchos los condicionantes de variada índole que no siempre lo hacen posible. En la primera parte del trabajo, además de definir qué es un material cerámico y cuáles son sus principales propiedades y características, se tratarán aquellos aspectos relacionados con la caracterización de materiales cerámicos, por qué y para qué se realiza, así como qué tipo de datos se obtienen. A continuación, se presentarán y discutirán algunas de las principales herramientas instrumentales con que cuenta en la actualidad la disciplina arqueométrica para llevar a cabo sus objetivos, incidiendo especialmente en sus particularidades y limitaciones. Finalmente, se reflexionará sobre lo que puede aportar la disciplina arqueométrica a partir del conocimiento tecnológico y compositivo del material cerámico sobre otros aspectos sociales de las comunidades del pasado.

LA CARACTERIZACIÓN ARQUEOMÉTRICA DE MATERIALES CERÁMICOS ARQUEOLÓGICOS ¿POR QUÉ Y PARA QUÉ?

El objetivo principal de la caracterización arqueométrica de materiales cerámicos arqueológicos es determinar la variabilidad del factor tecnológico y compositivo del conjunto cerámico estudiado. El objeto principal de la caracterización es, por otro lado, el material cerámico. Por lo tanto, es muy importante conocer qué es una cerámica y qué propiedades tiene.

La cerámica es un material elaborado a partir de silicatos, principalmente arcillas, que son endurecidos al aplicarles calor de forma continua. Este proceso es irreversible, lo que quiere decir que una vez endurecidos no pueden retornar a su estado plástico original conservando, por consiguiente, la forma en que hayan sido modelados (Linares *et al.*, 1983). El proceso de aplicación de calor de forma continua se denomina cocción. En función de la temperatura a la que son endurecidos, los materiales cerámicos se clasifican en tres categorías: no vitrificados, parcialmente vitrificados y vitrificados. Esta clasificación atiende al grado de fusión que experimentan las arcillas de la matriz cerámica a medida que asciende la temperatura durante la cocción. La cerámica no vitrificada es la llamada *terracota*, la parcialmente vitrificada es la *loza* y la cerámica vitrificada se corresponde con el *gres* y la *porcelana*. La *terracota* es un material cerámico cocido a una tempe-

ratura relativamente baja, normalmente por debajo de 850-900°C, que presenta una porosidad acusada, en general mayor de 30%, por lo que a menudo sus superficies se cubren con engobes para mitigarla. La *loza*, cocida entre 900 y 1.100°C de temperatura, tiene menor porosidad, entre 10 y 25%. Por último, el *gres* y la *porcelana* son cerámicas de alta temperatura, que es la que hace extensiva la fusión y la vitrificación de la matriz cerámica. El *gres* se cuece entre aproximadamente 1.200 y 1.350°C, mientras que la *porcelana* se halla en el intervalo de cocción comprendido entre 1.300 y 1.450°C. En ambos casos la porosidad es siempre inferior a 1% (Kingery *et al.*, 1976:516; Rice, 1987:4-6). Excepto en la *porcelana*, en los materiales de las tres primeras categorías se suelen aplicar capas de vidriado en sus superficies con el fin de impermeabilizarlas, produciendo así un material compuesto que consta de un cuerpo cerámico y de una capa superficial de vidrio.

Las principales propiedades de los materiales cerámicos son resistencia mecánica, resistencia a la abrasión, resistencia térmica, porosidad y estabilidad química (García Heras, 2012:71). Dichas propiedades son las que permiten su buena conservación en casi cualquier medio, lo que hace que sea un material ubicuo en la mayoría de yacimientos arqueológicos. Desde las primeras cerámicas pre-neolíticas hasta las cerámicas protohistóricas, e independientemente de su tecnología de producción, la mayoría de materiales cerámicos del ámbito cronológico que abarca la Prehistoria se encuadran dentro de la categoría de *terracotas*, incluidos algunos materiales de construcción como ladrillos y tejas.

La materia prima de una cerámica se compone básicamente de arcilla, inclusiones no plásticas y agua. Los minerales mayoritarios de las arcillas son los filosilicatos, que son silicatos con estructura laminar regular compuestos por capas de óxido de silicio (SiO_2) y de aluminio (Al_2O_3). Estos minerales arcillosos son los que se identifican con el término matriz cerámica (Linares *et al.*, 1983:480-481). Las inclusiones no plásticas, también llamadas desgrasante, pueden ser de naturaleza mineral u orgánica. Suelen estar presentes de forma natural en las arcillas o agregarse de forma deliberada para modificar o implementar alguna de sus propiedades. El agua se añade para que las arcillas adquieran plasticidad, una característica que permite que puedan modelarse y que conserven su forma cuando el agua se evapora y que se debe, precisamente, a la estructura laminar de los filosilicatos (Rye, 1988:21). El agua se pierde totalmente durante los procesos de secado y cocción. El objetivo de la cocción es someter estas materias primas a un proceso térmico durante un periodo de tiempo prolongado para que se produzca la descomposición completa y posterior fusión de los filosilicatos, si se alcanza suficiente temperatura. Este proceso recibe el nombre de *sinterizado*, confiere dureza al material arcilloso y es el responsable de que el material mantenga, de modo irreversible, la forma en la cual se ha modelado. El procesado térmico no solo produce cambios químico-físicos irreversibles en los filosilicatos, sino que éstos pueden reaccionar también con las inclusiones no plásticas y formar nuevas fases mineralógicas llamadas fases de neoformación o termoformadas. Estos cambios son el resultado de tres variables: la duración del proceso de cocción, la temperatura alcanzada y el tipo de atmósfera durante la cocción (Rice, 1987:80).

En un material cerámico, por tanto, pueden coexistir fases mineralógicas primarias, que ya estaban en la materia prima de partida, y fases neoformadas, que pueden informar, de forma indirecta, sobre dichas materias primas de partida.

En las últimas décadas se han ido planteando nuevos y más complejos interrogantes a los materiales cerámicos arqueológicos para llevar a cabo estudios cada vez más precisos de las sociedades del pasado. Entre estos interrogantes figuran aspectos relacionados con su tecnología y el cambio tecnológico, con sus procesos de producción, con las características y posible procedencia geográfica de las materias primas con las que se elaboraron, así como con su estado actual de conservación y su relación con posibles procesos postdeposicionales de alteración y degradación. En consecuencia, ha sido creciente la demanda de nuevas metodologías para extraer la mayor cantidad de información histórica y tecnológica de los artefactos cerámicos.

Para la aplicación de nuevas metodologías ha sido de gran trascendencia reconocer que una parte de los datos materiales del registro arqueológico cerámico son asociativos e históricos, es decir, contextuales, y otra parte son físicos, y que esta parte física del material no puede ser aprehendida por los medios tradicionales de investigación arqueológica. Reconocer la parte física de un material cerámico conlleva aceptar que se trata de un material sintético de manufactura compleja que exige conocimientos técnicos, más que meramente estéticos o artísticos, y que no solo contiene y almacena información histórica y cultural en su nivel más externo, el formal y estilístico, sino que esta información también queda registrada en otros niveles inferiores, por debajo del nivel externo, que van desde el nivel macroscópico hasta el nivel nuclear del material, pasando por el nivel de microestructura y de estructura cristalina (Kingery, 1988) (tabla 1). Todos estos niveles, como se ha mencionado anteriormente, son los que no es posible estudiar con métodos tradicionales de investigación arqueológica como el estudio cronotipológico, ya que éste solo accede al nivel más externo del material: el estilístico y formal. Sin embargo, el acceso a los niveles inferiores es el que posibilita obtener

TABLA 1
NIVELES DE ESTRUCTURA E INFORMACIÓN DE UN MATERIAL CERÁMICO

<i>N.º</i>	<i>Nivel de estructura</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Técnica de análisis</i>	<i>Información que se obtiene</i>
1	Estructura externa del artefacto	Análisis tipológico y estilístico	Examen visual	Cronología
2	Macroestructura	Examen de la macroestructura	Lupa binocular	Tecnología, materias primas y estado de conservación
3	Microestructura	Examen de la microestructura	Microscopía petrográfica y electrónica (MEB)	
4	Estructura cristalina	Identificación de fases cristalinas	Difracción de rayos X (DRX)	
5	Estructura atómica	Determinación de la composición química	Análisis espectroscópicos	

información relacionada con los nuevos interrogantes planteados al material cerámico arqueológico, como es el caso de la tecnología de producción, los procesos de manufactura, las características de la materia prima, sus transformaciones o su estado actual de conservación. Muchos de estos aspectos están directamente relacionados o son resultado de un determinado sistema de conducta humano. Por lo tanto, esta es la información que puede ser de relevancia para el desarrollo de estudios socio-económicos que, en definitiva, sirvan para llevar a cabo reconstrucciones más robustas de las sociedades del pasado y hacer frente a todo este tipo de nuevos interrogantes.

Para el acceso a los niveles inferiores de información que contiene un material cerámico, esto es, niveles de macroestructura, microestructura, estructura cristalina y estructura atómica, se emplean técnicas de caracterización químico-física procedentes en su mayoría de la ciencia de materiales, ya que a través de estas técnicas se realiza un estudio sistemático de la composición, estructura y parámetros tecnológicos de los materiales cerámicos y de las materias primas empleadas en su elaboración. La aplicación de estas técnicas para responder a los nuevos interrogantes planteados se inscribe dentro del campo de la disciplina conocida como *Arqueometría* (Montero *et al.*, 2007). Los estudios de caracterización de cerámicas arqueológicas son, por tanto, estudios de carácter arqueométrico y por ello suelen denominarse estudios de caracterización arqueométrica. Es importante destacar que la obtención de datos arqueométricos no es el fin último de la caracterización arqueométrica, ya que estos datos no tienen relevancia arqueológica directa si no es por las acciones que pueden inferirse de los mismos y que derivan, en última instancia, de un sistema de conducta humano y que son las que sirven precisamente para realizar reconstrucciones más precisas de las sociedades del pasado (García Heras, 2013:564).

TÉCNICAS INSTRUMENTALES DE LA DISCIPLINA ARQUEOMÉTRICA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES CERÁMICOS

Las técnicas de caracterización arqueométrica se dividen entre aquellas de análisis directo, que no son destructivas, y aquellas de análisis indirecto, que son destructivas o micro-destructivas, y en las que resulta necesario tomar una pequeña muestra del fragmento cerámico. Como cada técnica es capaz de recuperar información de un nivel distinto del material cerámico, es preciso emplearlas de modo combinado y complementario, ya que no existe una técnica que sea capaz de recuperar información de todos los niveles. Entre las técnicas de análisis directo destaca la lupa binocular para el nivel de macroestructura, y entre las de análisis indirecto la observación petrográfica y la observación mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) para el nivel de microestructura, la difracción de rayos X (DRX) para el nivel de estructura cristalina y las técnicas espectrométricas de análisis de la composición química elemental para el nivel de estructura atómica (tabla 1).

La lupa binocular permite realizar observaciones hasta 60 aumentos aproximadamente y se pueden llevar a cabo sobre la superficie de los fragmentos, sobre una fractura fresca o sobre una sección pulida del material cerámico. Con esta técnica se suele realizar una primera aproximación a la variabilidad tecnológica que presente el conjunto cerámico a estudiar, lo cual permite identificar lo que se conoce como *fábricas* o tipos de manufactura. El término *fábrica* se refiere al material cerámico cocido, ya que si no estuviera cocido no podría considerarse un material cerámico. Es muy común el empleo del término pasta cerámica en trabajos sobre cerámica prehistórica, sin embargo, este término hace referencia a la materia prima de una cerámica en crudo y, por consiguiente, al no estar todavía cocida, no puede considerarse un verdadero material cerámico. Este uso, por tanto, no es correcto para referirse a un material cocido. La distribución, tamaño, color, forma y frecuencia de los componentes de un determinado material cerámico son los parámetros que definen una *fábrica* (Whitbread, 1989:127). Como es una técnica que permite delimitar la variabilidad tecnológica del conjunto estudiado, se emplea normalmente para hacer una selección de las muestras que se analizarán a través de las técnicas de análisis indirecto, ya que no es posible analizar todos y cada uno de los fragmentos de un conjunto cerámico con técnicas de mayor poder analítico por razones prácticas, operativas y económicas.

La observación petrográfica se lleva a cabo con un microscopio petrográfico de luz transmitida que lleva incorporado un dispositivo que permite la polarización de la luz en uno o dos planos perpendiculares. Cuando la luz solo vibra en un plano, las observaciones se realizan con luz polarizada plana, mientras que si vibra en dos planos se realiza con lo que se llama nícoles cruzados. Las observaciones se llevan a cabo sobre láminas delgadas que se obtienen a partir de una sección transversal cortada del fragmento cerámico. Esta sección se pega en caliente a un portamuestras de vidrio con una resina epoxi y se pule hasta obtener una muestra de unos 30 μm de espesor. Este fino espesor es el que permite su observación a través del microscopio petrográfico, ya que los minerales presentes en la materia prima de la cerámica se identifican a partir de las propiedades ópticas que manifiestan cuando un haz de luz les atraviesa. Por ello este microscopio utiliza luz transmitida en vez de luz reflejada como la mayoría de microscopios.

Mediante la observación petrográfica se identifican los minerales y rocas de las inclusiones no plásticas presentes en la matriz cerámica. También se identifica la distribución, morfología, textura y tamaño de estas inclusiones, así como las características de la matriz, incluyendo su porosidad, lo cual permite hacer una primera estimación sobre el grado de *sinterizado* del material (García Heras, 2013:566-568). La mineralogía de las inclusiones informa si existe compatibilidad geológica con un determinado lugar, esto es, si puede tratarse de una producción local o foránea; mientras que su morfología, su textura y su tamaño pueden servir para estimar si formaban parte de la materia prima arcillosa de forma natural o se añadieron intencionadamente para modificar alguna de sus propiedades. Asimismo, la orientación de las inclusiones puede ser útil para identificar la técnica de modelado de los recipientes, y en algunos casos también para determinar las

técnicas de acabado de sus superficies, lo que puede proporcionar datos de interés para inferir la posible funcionalidad de los mismos. Obviamente, cuanto mayor es el tamaño de las inclusiones no plásticas más fácil resulta su caracterización. Por ello, cuando la materia prima arcillosa está muy decantada, como es el caso en muchos materiales cerámicos modelados a torno de la Prehistoria final, el examen petrográfico mediante lámina delgada tiene bastantes limitaciones, por lo que es aconsejable un empleo complementario con otras técnicas de análisis.

En resumen, la observación petrográfica proporciona información sobre la composición mineralógica de las inclusiones y sobre la estructura que muestra la *fábrica* o tipo de manufactura de la cerámica, que no siempre coincide con las determinaciones realizadas macroscópicamente mediante lupa binocular. Ambos parámetros se emplean para determinar las llamadas *petrofábricas*, que sirven para distinguir y comparar grupos cerámicos a partir de su composición mineralógica, compatibilidad geológica con una zona determinada y características estructurales de su *fábrica* o tipo de manufactura (Quinn, 2013; Albero, 2014:22-23).

Las observaciones mediante MEB hacen posible visualizar la microestructura de un material cerámico, ya que se puede examinar a elevados aumentos (por encima de 200.000 con buena resolución). La observación de la microestructura es importante para determinar el estado de *sinterizado* de un material y la extensión de las fases de vitrificación, que son resultado, principalmente, de la descomposición de los minerales arcillosos de la materia prima por efecto de la temperatura de cocción. Estas fases no pueden identificarse mediante difracción de rayos X (DRX) debido a que no tienen estructura cristalina. Sin embargo, pueden aportar información complementaria en la estimación de la temperatura de cocción equivalente, como se verá más adelante.

En los microscopios electrónicos de barrido convencionales la imagen se consigue al proyectar un haz de electrones, en condiciones de alto vacío, que barre la superficie del material observado. Mediante una diferencia de potencial, los electrones son acelerados a bajas energías, en general inferiores a 20 kV. Una nueva generación de microscopios utiliza como fuente de electrones un cañón de emisión de campo, que proporciona electrones de alta y baja energía muy focalizados, lo cual mejora la resolución y permite trabajar con potenciales inferiores a 5 kV. Estos equipos son los microscopios electrónicos de barrido de emisión de campo (MEBEC). La interacción del haz con la superficie del material causa distintas radiaciones, como la emisión de electrones secundarios y de electrones retrodispersados, que son los que forman la imagen que se obtiene en una pantalla convencional. Las imágenes de electrones secundarios proporcionan información topográfica, mientras que las de electrones retrodispersados son útiles para detectar heterogeneidades en el material. Otra de las radiaciones que causa es la emisión de rayos X, por ello en los equipos de microscopía electrónica se suelen acoplar detectores de espectrometría de dispersión de energías de rayos X (EDS), que permiten realizar microanálisis químicos en zonas específicas del material. Para prevenir la carga electrostática de la superficie, ésta debe recubrirse con una fina película de un material conductor, generalmente oro o carbono (Rice, 1987:401-402).

La observación de la microestructura de un material cerámico se realiza sobre una fractura fresca del fragmento de unos pocos milímetros. No obstante, también pueden examinarse secciones pulidas, normalmente embutidas en una resina epoxi, que son de gran utilidad para la caracterización de engobes y pigmentos decorativos, así como para el estudio de capas de vidriado (García Heras, 2013:571-572).

Mediante la difracción de rayos X (DRX) se identifican las fases minerales presentes en el material cerámico a partir de su estructura cristalina. El material se analiza en polvo, por lo que previamente una porción del interior del cuerpo cerámico, con sus partes más externas eliminadas para evitar contaminaciones, debe molerse hasta obtener polvo con un tamaño de grano inferior a 30 μm . Los sólidos cristalinos, como los minerales, tienen sus átomos ordenados en estructuras periódicas, con múltiples planos que se hallan espaciados de una forma característica para cada fase mineral. Cuando la muestra en polvo se expone a un haz de rayos X monocromático, cada fase mineral difracta los rayos X con ángulos e intensidades de reflexión diferentes en función del espaciado de los planos de su estructura atómica, y son estos ángulos e intensidades características de cada fase mineral las que permiten su identificación, con la ayuda de programas informáticos instalados en los difractómetros y a partir de bases de datos de referencia actualizadas regularmente por organismos internacionales (Corbeil, 2004; Rice, 1987:382-5).

Los materiales cerámicos arqueológicos son generalmente agregados poliminerálicos, por lo que suelen presentar difractogramas con múltiples fases mineralógicas que a veces son complejos de interpretar. En un difractograma de un material cerámico arqueológico se pueden identificar fases primarias, fases termoformadas y fases secundarias. Las fases primarias se relacionan con la matriz cerámica y con las inclusiones. Mientras que la mineralogía de las inclusiones se puede caracterizar también mediante observación petrográfica, como se ha visto anteriormente, los minerales de la matriz arcillosa y, por consiguiente, el tipo de arcilla (p. ej. illita, caolinita, clorita, montmorillonita, etc.), solo pueden identificarse con esta técnica. Las fases termoformadas se originan durante el proceso de cocción por reacción de algunas de las fases primarias en función de la duración, de la temperatura y del tipo de atmósfera de la cocción (Rice, 1987:80). Estas fases, en general, tampoco pueden identificarse en el examen petrográfico. Finalmente, las fases secundarias son resultado de la alteración de alguna de las fases primarias y/o termoformadas o de contaminación por aporte externo (p. ej. precipitado) durante el periodo de enterramiento. Con la información que proporcionan todas estas fases se puede establecer la temperatura de cocción equivalente del material cerámico estudiado (Maggetti, 1982). En ocasiones puede resultar de interés conocer la conducta térmica de alguna o algunas fases mineralógicas por efecto de la temperatura de cocción, especialmente cuando se puede disponer de materiales arcillosos de referencia, bien tomados en las inmediaciones de un yacimiento arqueológico o bien de naturaleza similar al utilizado en el material cerámico estudiado. En estos casos, la DRX se complementa con análisis térmico diferencial y termogravimétrico (ATD-TG), o con difractómetros equipados con cámaras de alta temperatura, en los que a la vez

que se cuece la muestra se obtiene un difractograma a determinados intervalos de temperatura (García Heras, 2013:568).

Por último, se emplean diferentes técnicas para determinar la composición química elemental de un material cerámico. Entre las más utilizadas se encuentran la espectrometría de fluorescencia de rayos X (FRX) y, más recientemente, la espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (conocida por sus siglas en inglés ICP-MS). Una técnica que ha sido muy generalizada, aunque actualmente se halla en retroceso debido a que se realiza con reactores nucleares de investigación con fuente de neutrones de baja energía, es el análisis instrumental de activación de neutrones (INAA en sus siglas en inglés) (Skowronek *et al.*, 2002). En cualquier caso, lo importante de una técnica de análisis químico es que tenga buenos niveles de precisión y exactitud con el fin de que los resultados que se obtengan sean reproducibles (Bishop *et al.*, 1990). En la mayoría de estas técnicas la muestra a analizar se obtiene del interior del cuerpo cerámico de los fragmentos para evitar contaminaciones y, al igual que en la DRX, la muestra se analiza en polvo molido con tamaño de grano inferior a 30 μm . En el caso de la FRX, en los últimos años se han desarrollado equipamientos portables que tienen sus ventajas, por ejemplo, cuando se hace necesario analizar materiales depositados en museos o recuperados en entornos en los que se hace difícil la obtención de muestras para llevar al laboratorio. Entre sus inconvenientes destacan una menor precisión y exactitud de las determinaciones debido a que, en muchas ocasiones, los materiales se analizan directamente sin preparación previa de la muestra. La validación de estas técnicas portables debe realizarse mediante la comparación de sus resultados con otras técnicas ya validadas (Speakman *et al.*, 2011).

El objetivo principal de la utilización de estas técnicas de análisis químico es la identificación de grupos y subgrupos de referencia que muestren un perfil químico similar en un conjunto general de datos cerámicos, y trazar la procedencia geográfica del material estudiado a partir de la composición química de cerámicas o materias primas arcillosas de origen conocido (Rice, 1987:413). Los datos de composición química se complementan con los obtenidos con la observación petrográfica y microestructural y con las fases mineralógicas identificadas mediante DRX. El establecimiento de grupos y subgrupos se realiza mediante técnicas estadísticas de análisis multivariante, que comprimen y reducen la información contenida en una matriz de datos, identifican cuál o cuáles son las variables que contribuyen más a la variabilidad de los datos y determinan la similitud o disimilitud de los grupos a partir de sus distancias en un espacio n -dimensional, donde n es el número de variables (concentraciones elementales) del fragmento cerámico analizado. Para compensar las diferencias de magnitud entre los valores de los elementos mayoritarios y minoritarios, las concentraciones elementales se normalizan o se transforman en valores logarítmicos con el fin de convertirlas en órdenes de magnitud similar y evitar que las concentraciones mayores tengan un peso excesivo en el cálculo de los coeficientes de similitud (Bishop y Neff, 1989:63). Entre las técnicas multivariantes más comúnmente empleadas se encuentran el análisis *cluster* o de agrupaciones jerarquizadas, el análisis de componentes principales o el análisis

discriminante con el cálculo de la distancia de Mahalanobis, que calcula la probabilidad de pertenencia de una muestra cerámica a un grupo determinado para evaluar si la muestra puede o no pertenecer a dicho grupo (Aitchison, 1986; Baxter, 1994). En la asignación de un grupo de referencia a una determinada fuente de materia prima y, en consecuencia, a una determinada procedencia geográfica, existen al menos dos factores de incertidumbre que puede hacer variar el perfil químico de un grupo. Por un lado, la posibilidad de que se hayan producido alteraciones en los constituyentes del material cerámico (Buxeda *et al.*, 2001) o contaminaciones por aporte externo (Cau *et al.*, 2002) como consecuencia, en ambos casos, de procesos postdeposicionales acaecidos durante el enterramiento; y por otro lado, las posibles modificaciones que puede haber experimentado una determinada materia prima arcillosa durante el proceso de elaboración de la cerámica, ya que en determinados procesos tecnológicos se añaden o se eliminan componentes de dicha materia prima (Bishop y Neff, 1989:69).

Una de las evidencias para inferir el posible uso y funcionalidad de los recipientes cerámicos es el estudio de los indicadores bioquímicos de contenidos que, en opinión de algunos investigadores, deberían formar parte de los estudios de caracterización de cerámicas arqueológicas. Entre los residuos que se determinan habitualmente se hallan las grasas animales y las grasas vegetales, aunque también se recuperan otras sustancias orgánicas como resinas o carbohidratos, entre los que se encuentran los azúcares o los almidones. Para la identificación de estas sustancias se emplean técnicas como la cromatografía de gases y la espectrometría de masas (Rice, 1987:233-234).

QUÉ PUEDE APORTAR LA DISCIPLINA ARQUEOMÉTRICA EN EL ESTUDIO DEL MATERIAL CERÁMICO SOBRE ASPECTOS SOCIALES DE LAS COMUNIDADES DEL PASADO

Los estudios de caracterización arqueométrica son un componente esencial de gran parte de la investigación arqueológica actual sobre materiales cerámicos (Albero, 2014). Un estudio bibliométrico realizado a partir de 589 trabajos publicados sobre este tema en la década 2000-2010 en revistas científicas y actas de congresos pertenecientes a *Journal Citation Reports* (JCR) (Peña-Poza *et al.*, 2011), indica que el mayor porcentaje de trabajos tiene por objeto el estudio de materiales de la Prehistoria europea y que estos trabajos se realizan, mayoritariamente, por autores europeos (Italia, España, Francia, Reino Unido, Alemania y Grecia principalmente) y norteamericanos (sobre todo estadounidenses). Por otro lado, el estudio constata que más de la mitad (54%) de los trabajos publicados se centran en el análisis de la composición química de las cerámicas para establecer la posible procedencia de los materiales, utilizando técnicas estadísticas de análisis multivariante en el tratamiento de los datos, mientras que apenas un 33% de los trabajos se focaliza en aspectos tecnológicos y estructurales de los materiales cerámicos estudiados. La misma tendencia se observa también en trabajos de autores

españoles de años precedentes (García Heras, 1997; Cordero *et al.*, 2006). Esto quiere decir que en el esfuerzo investigador existe un mayor interés por conocer la procedencia geográfica de las cerámicas para inferir procesos de comercio e intercambio, que por determinar su tecnología y sus procesos de producción para inferir aspectos relacionados con la organización socio-económica de la producción, que es el tema central del seminario del que surge esta contribución.

La tecnología comprende aquellas acciones realizadas por el ser humano para producir un material cerámico, es decir, son resultado de un determinado sistema de conducta. Para el estudio de la cerámica desde un punto de vista tecnológico resulta útil emplear el concepto de *secuencia de producción* (Rye, 1988:3), debido a que la cerámica es un material que se sintetiza a partir de distintas materias primas y que debe crearse desde ellas, no existe en la naturaleza. Surge al transformar, con la ayuda de calor, unos materiales en otro nuevo: la cerámica. Es por tanto un proceso productivo, además de una cadena de acciones. Desde los años 70, y especialmente en las últimas dos décadas, se ha venido utilizando el concepto de *cadena operativa* en muchos estudios sobre cerámica arqueológica (Martinón-Torres, 2002; Albero, 2014:53-55). Un concepto desarrollado en los estudios de material lítico. Sin embargo, existe un matiz por el que es preferible utilizar el término *secuencia de producción*, y es que una cerámica es un material nuevo que se produce al sintetizar otros, mientras que el material lítico no se produce, ya existe en la naturaleza, en la cadena de acciones que se llevan a cabo para elaborarlo solo tienen lugar cambios en su nivel externo, no en sus niveles internos. La parte física del material es en esencia la misma, no hay proceso productivo.

La *secuencia de producción* del material cerámico se compone de cinco acciones básicas y sucesivas: 1) selección, extracción y recogida de materias primas; 2) preparación y acondicionamiento de las materias primas; 3) modelado; 4) secado; y 5) cocción. En ocasiones después del modelado, o también después del secado pero de cualquier modo siempre antes de la cocción, pueden realizarse asimismo acciones de tratado de superficies y/o elaboración de decoraciones. Cualquiera de las técnicas de caracterización arqueométrica vistas en el apartado anterior tiene potencial suficiente para aportar datos de notable interés sobre estas cinco acciones básicas y, por tanto, para reconstruir la *secuencia de producción* y la tecnología, es decir, la conducta de los alfareros o alfareras del pasado, de un material cerámico determinado.

- 1) Selección, extracción y recogida de materias primas. El recurso más importante para fabricar cerámica es la arcilla. Con las técnicas anteriores se puede caracterizar el tipo de arcilla utilizada y las inclusiones que contenga, lo cual puede aportar información sobre la posible ubicación geográfica de depósitos geológicamente compatibles con los materiales seleccionados. Cada tipo de arcilla tiene unas características particulares, por lo que su elección puede venir condicionada por alguna o algunas de ellas, como por ejemplo su plasticidad, su facilidad de secado, su facilidad de procesado, etc. Desde un punto de vista mineralógico y según la ordenación de sus capas de filosilicatos, las arcillas se

dividen en distintos grupos como illitas (fig. 1A), caolinitas (fig. 1B), cloritas, montmorillonitas, haloisitas, esmectitas, etc. La montmorillonita es una de las arcillas más plásticas, mientras que la caolinita es una de las que presenta menor plasticidad. La illita y la clorita tienen una plasticidad media. Por otro lado, cuanto mayor es la plasticidad de una arcilla más tarda en secarse, debido a que absorbe una mayor cantidad de agua (Rye, 1988:21). El conocimiento de todas o alguna de las propiedades de los distintos grupos de arcillas, aunque fuera de manera intuitiva, debió ser determinante en la elección de un tipo de arcilla determinado por los alfareros o alfareras del pasado. Un depósito arcilloso no suele aparecer puro. Lo normal es que contenga impurezas o inclusiones minerales procedentes de las rocas a partir de las cuales se ha formado. Las inclusiones más abundantes en los depósitos arcillosos suelen ser cuarzo, feldespatos, mica, carbonatos (generalmente calcita y dolomita) y minerales férrico-ferrosos, aunque pueden coexistir fragmentos de rocas compuestas por varios minerales.

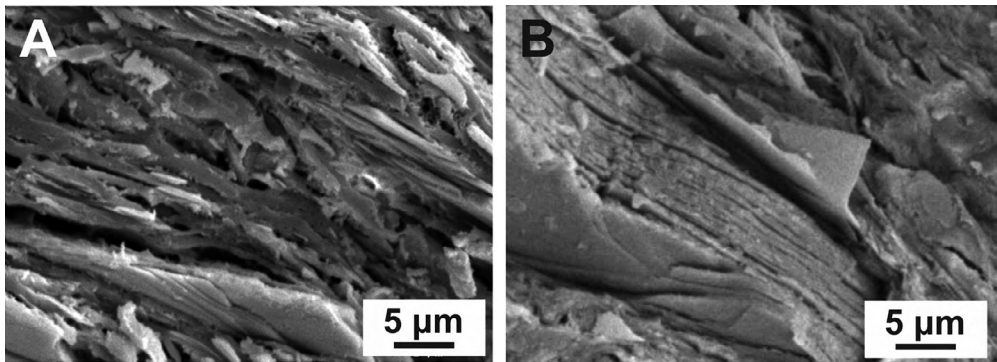


Fig. 1.—Micrografías de MEB. Electrones secundarios. A) Cristales de illita. B) Cristales de caolinita.

- 2) Preparación y acondicionamiento de las materias primas. Pocas arcillas pueden utilizarse en su estado natural sin ninguna manipulación previa. Lo normal es que deban procesarse, eliminando o añadiendo componentes, para adaptar el material a los requerimientos funcionales. Entre los componentes añadidos existe una amplia variedad, que va desde inclusiones de granito (fig. 2A), conchas (fig. 2B) o chamota (fig. 2C), cerámica machacada para reforzar las propiedades mecánicas de los recipientes, hasta adiciones de hueso (fig. 2D) o fibras vegetales (fig. 2E) para hacer más ligera la cerámica. También es frecuente la adición de inclusiones para modificar las propiedades refractarias del material cerámico, como es el caso de la calcita (fig. 2F). El acondicionamiento variará en función de la técnica de modelado que se utilice en la siguiente acción, ya que el modelado no permite la presencia de inclusiones de gran tamaño, mientras que este aspecto no resulta determinante si las piezas cerámicas se modelan a

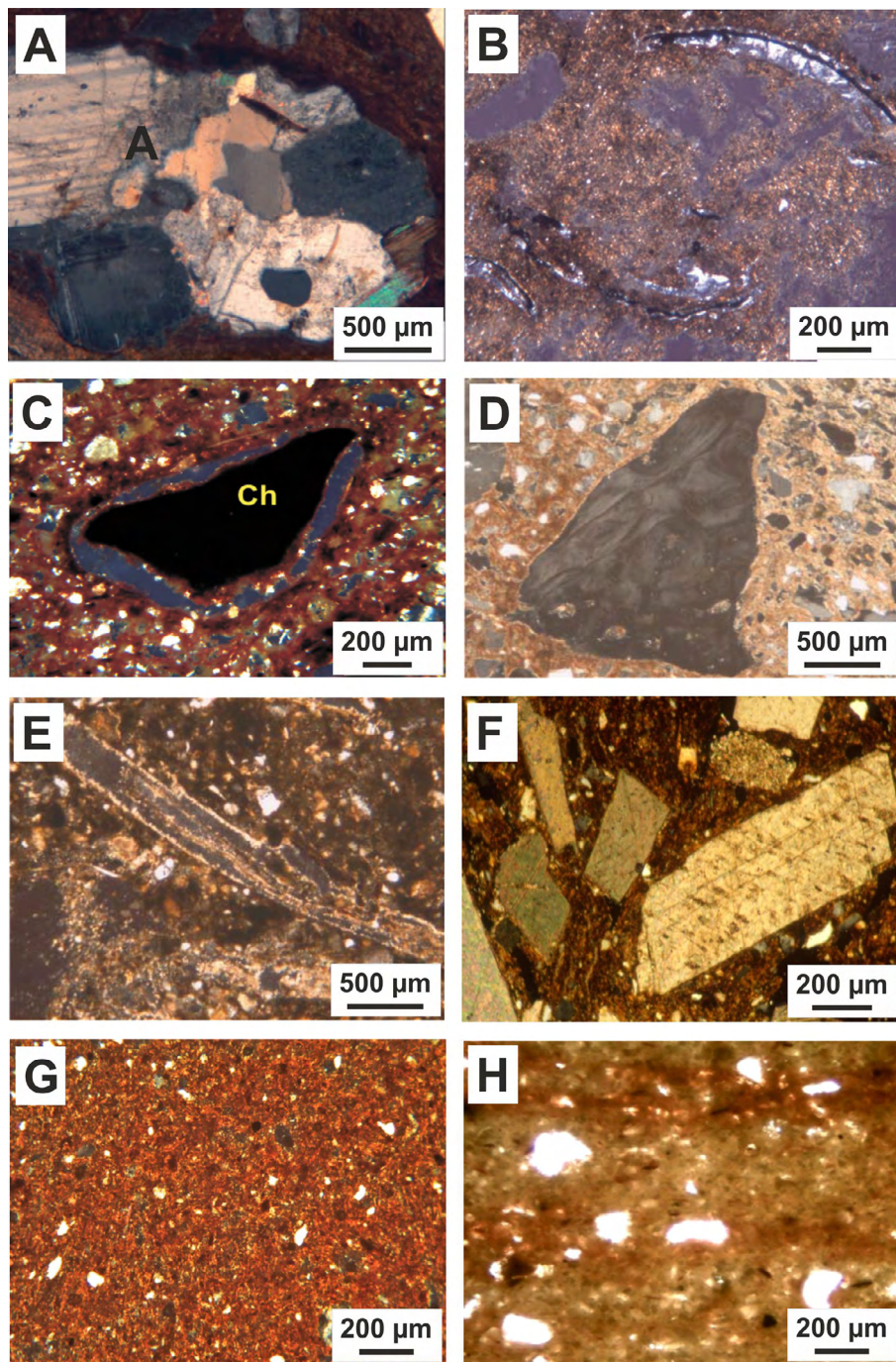


Fig. 2.—Micrografías de lámina delgada. Nícoles cruzados excepto H con luz plana. A) Granito. B) Conchas. C) Chamota. D) Hueso. E) Fibra vegetal. F) Calcita. G) Levigado. H) Mezcla de arcillas.

mano. Para la retirada de impurezas de la arcilla pudieron utilizarse tamices de distinto tamaño y diferentes materiales como tejidos, fibras vegetales, etc. Sin embargo, para la selección de arcillas con un tamaño de grano fino se utiliza el proceso de *levigado*, que consiste en combinarlas con agua en tanques para formar una suspensión que sedimenta, debido a la gravedad, las partículas más gruesas y pesadas en el fondo y deja las más ligeras en la parte superior. Este proceso también se puede detectar con técnicas de caracterización (fig. 2G). A veces es necesario mezclar distintos tipos de arcillas entre sí para modificar o implementar las propiedades de un material arcilloso determinado. Aunque esta acción puede determinarse a través del examen petrográfico (fig. 2H), no siempre resulta sencillo identificarla y a menudo contribuye a desvirtuar alguno de los resultados ya que, en definitiva, se mezclan las características de dos depósitos arcillosos que por separado pueden llegar a ser muy distintos. Por último, una vez que la materia prima arcillosa se ha acondicionado, ya sea mediante eliminación, adición o mezcla de componentes, se le añade agua y se amasa, a mano, mediante pisado o empleando medios mecánicos, para homogeneizar los componentes y eliminar las burbujas de aire que podrían dificultar el posterior proceso de cocción. La adecuada o no adecuada homogeneización también puede identificarse por técnicas de caracterización arqueométrica.

- 3) Modelado. En la mayor parte de la cerámica prehistórica las dos técnicas que se utilizaron fueron el modelado a mano y el modelado a torno. En el modelado a mano pueden distinguirse hasta cuatro variedades distintas: ahuecado, unión de planchas, molde y urdido mediante rollos o cilindros (fig. 3A), aunque a veces en un mismo recipiente se utiliza más de una técnica de forma simultánea. En muchas ocasiones estas variedades imprimen una orientación preferente a las inclusiones presentes en la *fábrica* que puede identificarse, por ejemplo, a través de la observación petrográfica (fig. 3B). En el modelado a torno se distinguen dos variedades: torno lento de una sola plataforma y torno rápido de dos plataformas. En el primero se consigue una menor velocidad de rotación

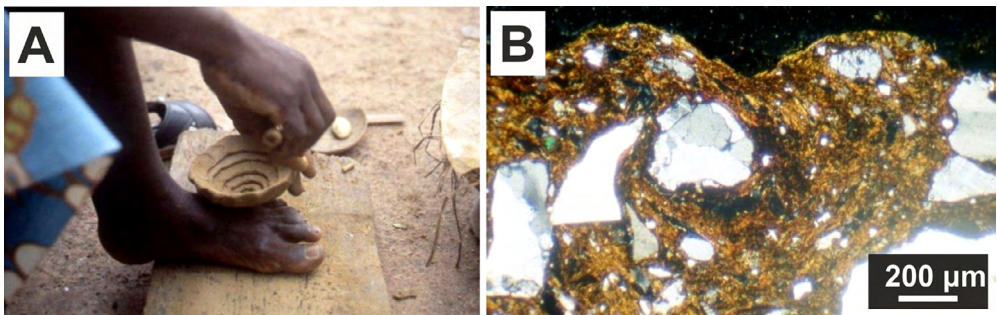


Fig. 3.—A) Modelado mediante urdido de rollos o cilindros. B) Micrografía de lámina delgada (nícoles cruzados) obtenida de un recipiente modelado mediante urdido de rollos o cilindros. Nícoles cruzados. (Mercader *et al.*, 2000).

(alrededor de 50 r.p.m.), mientras que, en el segundo, en la que el alfarero imprime el movimiento con el pie en la plataforma inferior, se consigue una mayor velocidad de rotación (alrededor de 150 r.p.m.).

- 4) Secado. Esta acción es una de las más importantes de la secuencia ya que de ella depende la adecuada consecución de la última de las acciones: la cocción. El secado se lleva a cabo para que las piezas cerámicas pierdan el agua de mojadura empleada para que las arcillas consigan su plasticidad y alcanzar el estado llamado de *piel dura*. Un secado demasiado rápido o incompleto de los artefactos cerámicos puede tener consecuencias dramáticas durante la cocción, debido a que puede hacer que estallen por estrés térmico. La acción de secado es quizás la que deja menos evidencias reconocibles para las técnicas de caracterización arqueométrica. Sin embargo, si la *secuencia de producción* puede reconstruirse para el resto de acciones, ésta puede ser la evidencia de que el secado debió ser exitoso. A veces después del modelado o también después del secado en el estado de *piel dura*, pueden realizarse distintos tratamientos en las superficies como el bruñido (fig. 4A), en el que se selecciona el tamaño de partícula más fino de la arcilla por procedimientos mecánicos (fig. 4B), o la aplicación de engobes para disminuir la porosidad (fig. 4C).

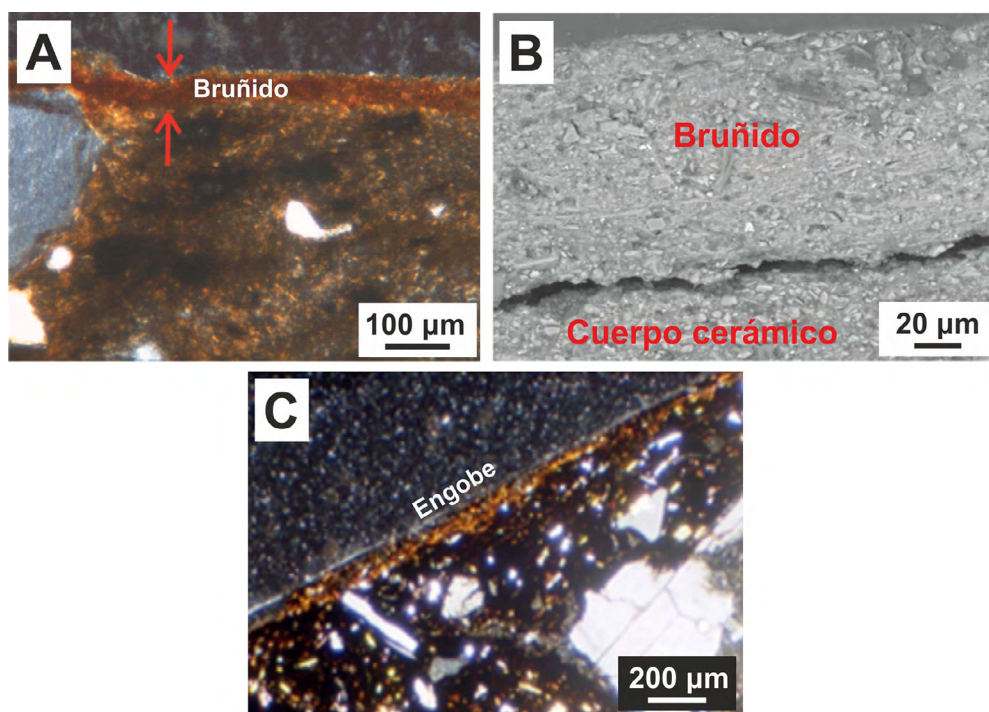


Fig. 4.—A) Micrografía de lámina delgada. Nícoles cruzados. Bruñido. B) Micrografía de MEB. Electrones retrodispersados. Bruñido. C) Micrografía de lámina delgada. Nícoles cruzados. Engobe.

- 5) Cocción. Es la acción de la que depende toda la *secuencia de producción*, ya que un mal proceso de cocción puede arruinar el trabajo invertido en las cuatro acciones anteriores. Puesto que la mayor parte de la cerámica prehistórica se encuadra en la categoría de *terracota*, las técnicas de cocción utilizadas fueron básicamente hogueras a fuego abierto, a menudo aprovechando agujeros u oquedades naturales del terreno, y hornos o estructuras permanentes de cocción. En las primeras, a fuego abierto, las piezas cerámicas y el combustible se ubican juntos, por lo que la temperatura y la atmósfera no se controlan con facilidad. Se alcanzan temperaturas relativamente bajas, en general por debajo de 700-750°C, aunque con variaciones considerables debido a que una parte importante del calor es desaprovechada (Rye, 1988:98). La cocción en estructuras permanentes como los hornos permite un mejor control de la temperatura y de la atmósfera durante la cocción, ya que se evita la pérdida de calor. Por ello se consiguen temperaturas de cocción más elevadas, en torno a los 850-900°C. En estas estructuras las piezas cerámicas y el combustible se colocan en cámaras separadas, en la superior los recipientes y en la inferior el combustible, aunque comunicadas por distintos tipos de conductos para que circule el calor. La cámara superior puede ser temporal, se construye para cada cocción, o permanente, pero siempre tiene conducciones que permiten la entrada de aire para el control de una atmósfera oxidante, o impedirla para generar una atmósfera mayoritariamente reductora (Kingery, 1997:13). La mayoría de los parámetros que intervienen en el proceso de cocción pueden ser reconstruidos por técnicas de caracterización arqueométrica, incluida la conducta térmica completa de los recipientes. Además, los datos pueden ser contrastados cuando existen evidencias de estructuras permanentes de cocción, a través del estudio arqueométrico de los materiales utilizados en estas estructuras, en muchos casos ladrillos que actúan como material cerámico refractario y, por consiguiente, con características que son susceptibles de estudio mediante técnicas de caracterización arqueométrica, o cuando se puede disponer de materias primas cerámicas similares a las estudiadas con las que se puede modelizar, de forma experimental, el procesado térmico de los materiales cerámicos estudiados.

La reconstrucción de la *secuencia de producción* y de la tecnología y, por consiguiente, de la conducta y organización que los alfareros o alfareras del pasado siguieron para producir un determinado conjunto cerámico, tienen sin duda una relación directa con la estructura social. De este modo, a partir de la *secuencia* o de las *secuencias de producción* pueden inferirse los modos de producción que operan en la estructura social de una determinada comunidad del pasado y establecer si se trata de una producción doméstica, de una producción especializada o de una producción a gran escala. Para establecer estos distintos modos o segmentos de producción es importante determinar cómo operan en la organización de la producción algunos de los siguientes parámetros (Albero, 2014:261), teniendo siempre en cuenta que diferentes modos y escalas de producción podrían coexistir dentro de una misma estructura social (Sinopoli, 1991:102; Arnold, 1985, 2011). Entre

estos parámetros es preciso conocer si la producción es a pequeña o gran escala, si se produce o no un elevado número de artefactos, si las piezas producidas tienen o no una elevada durabilidad, si los alfareros o alfareras trabajan a tiempo parcial o completo, si existe o no especialización en la producción y en la funcionalidad de los recipientes, o si es posible demostrar que existe o no una estandarización de ciertos productos cerámicos.

CONSIDERACIONES FINALES

Como se ha expuesto en las líneas precedentes, la disciplina arqueométrica cuenta con un gran potencial, tanto teórico como metodológico, para aportar conocimiento histórico sobre la tecnología de producción de materiales cerámicos de las comunidades del pasado. En el momento actual se dispone de potentes herramientas instrumentales para llevar a cabo el estudio arqueométrico de estos materiales. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los análisis activan la historia total del artefacto cerámico. Esto es, reflejan la composición que tiene en el presente, la cual es resultado de la tecnología desarrollada para su producción, del uso que se haya dado a los artefactos y de las alteraciones y contaminaciones postdeposicionales que hayan acaecido durante el enterramiento, incluyendo los posibles procesos de consolidación o restauración que hayan podido llevarse a cabo tras la extracción de los materiales de la excavación arqueológica. Por otro lado, también es importante destacar que la aplicación de técnicas de caracterización arqueométrica para estudiar los aspectos tecnológicos y compositivos de un material cerámico no es el fin en sí mismo de la investigación, se debe hacer un esfuerzo adicional por integrar, tanto los datos arqueométricos generados por los distintos niveles de información, como los datos de naturaleza contextual y cultural, en una interpretación final que tenga significado histórico ya que, en última instancia, esto es lo relevante en la investigación arqueológica de materiales cerámicos. Finalmente, en la interpretación final, también es importante valorar las posibles interacciones de los patrones de producción cerámica con los patrones de otras producciones, así como con otros segmentos de la estructura social.

Agradecimientos

El autor agradece muy cordialmente la invitación a participar en este monográfico sobre la cerámica y el poder de la tecnología para interpretar las sociedades del pasado, a Juan Jesús Padilla Fernández y al resto de organizadores. El trabajo se ha realizado con la ayuda del programa TopHeritage: Tecnologías en Ciencias del Patrimonio Cultural de la Comunidad de Madrid y fondos estructurales de la Unión Europea (Ref. S2018/NMT-4372). Se agradece también el apoyo profesional de la Red TechnoHeritage de Ciencia y Tecnología para la Conservación del Patrimonio Cultural, así como a la Plataforma Temática Interdisciplinar PTI-PAIS del CSIC Patrimonio Abierto: Investigación y Sociedad.

BIBLIOGRAFÍA

- AITCHISON, J. (1986): *The Statistical Analysis of Compositional Data*, Chapman and Hall, London.
- ALBERO, D. (2014): *Materiality, Techniques and Society in Pottery Production. The Technological Study of Archaeological Ceramics through Paste Analysis*, De Gruyter Open, Berlin.
- ALFATHI HAYATI, M. (2018): "Technical characteristics of the Mesolithic pottery in El Goz sites (Central Sudan)", *Desert and the Nile. Prehistory of the Nile Basin and the Sahara. Papers in honour of Fred Wendorf* (J. Kabaciński, M. Chłodnicki, M. Kobusiewicz y M. Winiarska-Kabacińska, eds.), Poznan Archaeological Museum, Studies in African Archaeology 15, Poznan, pp. 183-191.
- ANTONELLI, F., CANEVA, I., LAZZARINI, L. y MARITAN, L. (2018): "Pottery production at the Mesolithic site of Kabbashi Haitah (Central Sudan): An integrated morphological, petrographic and mineralogical analysis", *Mediterranean Archaeology and Archaeometry* 18:5, pp. 1-15.
- ARNOLD, D.E. (1985): *Ceramic Theory and Cultural Process*, Cambridge University Press, Cambridge.
- ARNOLD, D.E. (2011): "Ceramic theory and cultural process after 25 years", *Ethnoarchaeology. Journal of Archaeological, Ethnographic and Experimental Studies* 3:1, pp. 63-98.
- BAXTER, M. (1994): *Exploratory Multivariate Analysis in Archaeology*, Edinburgh University Press, Edinburgh.
- BISHOP, R.L. y NEFF, H. (1989): "Compositional data analysis in archaeology", *Archaeological Chemistry IV* (R.O. Allen, ed.), American Chemical Society, Advances in Chemistry Series 220, Washington D.C., pp. 57-86.
- BISHOP, R.L., CANOUTS, V., CROWN, P.L. y DE ATLEY, S.P. (1990): "Sensitivity, precision, and accuracy: their roles in ceramic compositional data bases", *American Antiquity* 55:3, pp. 537-546.
- BOARETTO, E., WU, X., YUAN, J., BAR-YOSEF, O., CHU, V., PAN, Y., LIU, K., COHEN, D., JIAO, T., LI, S., GU, H., GOLDBERG, P. y WEINER, S. (2009): "Radiocarbon dating of charcoal and bone collagen associated with early pottery at Yuchanyan Cave, Hunan Province, China", *Proceedings of the National Academy of Science* 106:24, pp. 9595-9600.
- BUXEDA, J., KILIKOGLU, V. y DAY, P.M. (2001): "Chemical and mineralogical alterations of ceramics from a Late Bronze Age kiln at Kommos, Crete: the effect on the formation of a reference group", *Archaeometry* 43:3, pp. 349-371.
- CAU, M.A., DAY, P.M. y MONTANA, G. (2002): "Secondary calcite in archaeological ceramics: evaluation of alteration and contamination processes by thin section study", *Modern Trends in Scientific Studies of Ancient Ceramics* (V. Kilikoglou, A. Hein y Y. Maniatis, eds.), BAR International Series 1011, Archaeopress, Oxford, pp. 9-18.
- CORBEIL, M.C. (2004): *Application of X-ray Diffraction in Conservation Science and Archaeometry*, International Center for Diffraction Data (ICDD), Advances in X-ray Analysis 47, Newton (Pennsylvania).
- CORDERO, T.; GARCÍA SANJUÁN, L.; HURTADO, V.; MARTÍN, J.M.; POLVORINOS, A. y TAYLOR, R. (2006): "La Arqueometría de materiales cerámicos: una evaluación de la experiencia andaluza", *Trabajos de Prehistoria* 63:1, pp. 9-35.
- DEREVIANKO, A.P., KUZMIN, Y.V., BURR, G.S., JULL, A.J. y KIM, J.C. (2004): "AMS ¹⁴C age of the earliest pottery from the Russian Far East: 1996-2002", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Part B* 223-224, pp. 735-739.
- GARCÍA HERAS, M. (1997): "Estudio bibliométrico de los trabajos de caracterización sobre materiales cerámicos arqueológicos en España: una valoración", *Revista d'Arqueologia de Ponent* 7, pp. 129-150.
- GARCÍA HERAS, M. (2012): "Caracterización de cerámicas arqueológicas e históricas", *La conservación de los geomateriales utilizados en el Patrimonio* (R. Fort González y E. Pérez-Monserrat, coords.), Programa Geomateriales, Comunidad de Madrid, Madrid, pp. 69-74.
- GARCÍA HERAS, M. (2013): "Producciones cerámicas", *Métodos y técnicas de análisis y estudio en arqueología prehistórica. De*

- lo técnico a la reconstrucción de *los grupos humanos* (M. García-Díez y L. Zapata, eds.), Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco, Bilbao, pp. 553-583.
- KINGERY, W.D. (1988): "A role for ceramic materials science in art, history and archaeology", *Materials Issues in Art and Archaeology* (E.V. Sayre, P.B. Vandiver, J. Druzik y C. Stevenson, eds.), Materials Research Society Symposium Proceedings 123, Pittsburgh (Pennsylvania), pp. 159-168.
- KINGERY, W.D. (1997): "Operational principles of ceramic kilns", *The Prehistory & History of Ceramic Kilns* (P.M. Rice, ed.), American Ceramic Society, Ceramics and Civilization VII, Westerville (Ohio), pp. 11-19.
- KINGERY, W.D., BOWEN, H.K. y UHLMANN, D.R. (1976): *Introduction to Ceramics*. John Wiley and Sons, 2nd Edition, New York.
- LINARES, J.; HUERTAS, F. y CAPEL, J. (1983): "La arcilla como material cerámico. Características y comportamiento, *Cuadernos de Prehistoria de la Universidad de Granada* 8, pp. 479-490.
- MAGGETTI, M. (1982): "Phase analysis and its significance for technology and origin", *Archaeological Ceramics* (J.S. Olin y A.O. Franklin, eds.), Smithsonian Institution Press, Washington D.C., pp. 121-133.
- MARTINÓN-TORRES, M. (2002): "Chaîne Opératoire: the concept and its applications within the study of technology", *Gallaecia* 2, pp. 29-43.
- MERCADER, J., GARCÍA-HERAS, M. y GONZÁLEZ-ÁLVAREZ, I. (2000): "Ceramic tradition in the African forest: characterisation analysis of ancient and modern pottery from Ihuri, D.R. Congo", *Journal of Archaeological Science* 27:2, pp. 163-182.
- MONTERO, I., GARCÍA HERAS, M. y LÓPEZ-ROMERO, E. (2007): "Arqueometría: cambios y tendencias actuales", *Trabajos de Prehistoria* 64:1, pp. 23-40.
- PEÑA-POZA, J., GARCÍA-HERAS, M. y VILLEGAS, M.A. (2011): "The archaeometric study of ceramic materials in JCR journals and conference proceedings during the last decade (2000-2010)", *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio* 50:4, pp. 185-192.
- QUINN, P.S. (2013): *Ceramic Petrography: The Interpretation of Archaeological Pottery and Related Artefacts in Thin Section*, Archaeopress, Oxford.
- RICE, P.M. (1987): *Pottery Analysis: A Sourcebook*, Chicago University Press, Chicago. (Hay una segunda edición de este libro publicada en el año 2014. No obstante, las referencias en el texto se refieren siempre a la primera edición de 1987).
- RICE, P.M. (1999): "On the origins of pottery", *Journal of Archaeological Method and Theory* 6:1, pp. 1-54.
- RYE, O.S. (1988): *Pottery Technology: Principles and Reconstruction*, Taraxacum Inc, Manuals on Archaeology n.º 4, 2nd Edition, Washington D.C.
- SINOPOLI, C.M. (1991): *Approaches to Archaeological Ceramics*, Plenum Press, New York.
- SKOWRONEK, R.K., BISHOP, R.L., BLACKMAN, M.J., GINN, S. y GARCÍA-HERAS, M. (2002): "Chemical characterization of earthenware of the Alta California frontier", *Proceedings of the Society for California Archaeology* 16, pp. 209-219.
- SPEAKMAN, R., LITTLE, N., CREEL, D., MILLER, M. e IÑANEZ, J. (2011): "Sourcing ceramics with portable XRF spectrometers? A comparison with INAA using Mimbres pottery from the American Southwest", *Journal of Archaeological Science* 38:12, pp. 3483-3496.
- WHITBREAD, I.K. (1989): "A proposal for the systematic description of thin sections towards the study of ancient ceramic technology", *Archaeometry. Proceedings of the 25th International Symposium* (Y. Maniatis, ed.), Elsevier, Amsterdam, pp. 127-138.