

ESTUDIO ACÚSTICO, ARQUEOMÉTRICO Y MUSICOLÓGICO DE INSTRUMENTOS MUSICALES ARQUEOLÓGICOS: LAS TROMPETAS DE CERÁMICA DE NUMANCIA (SIGLOS III-I A. C.)

ACOUSTICAL, ARCHAEOLOGICAL AND MUSICOLOGICAL STUDY OF ARCHAEOLOGICAL MUSICAL INSTRUMENTS: THE NUMANTIAN CERAMIC TRUMPETS (3RD-1ST CENTURIES B.C.)

Raquel Jiménez Pasalodos

Dpto. de Historia y Ciencias de la Música. Universidad de Valladolid
raquel.jimenez@uva.es

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9422-8302>

Fernando Agua Martínez

Instituto de Historia, CSIC, Madrid.

fernando.agua@cchs.csic.es

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-6868-8521>

Juan Jesús Padilla Fernández

Dpto. de Prehistoria, Historia Antigua y Arqueología. Universidad Complutense.

juanjpad@ucm.es

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-5107-4390>

M^a Ángeles Villegas Broncano

Instituto de Historia, CSIC, Madrid.

mariangeles.villegas@cchs.csic.es

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9727-5478>

Manuel García Heras

Instituto de Historia, CSIC, Madrid.

manuel.gheras@cchs.csic.es

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4468-2694>

Resumen

Las trompetas cerámicas celtibéricas de finales de la Edad del Hierro (siglos III-I a. C.) se conocen desde que se hallaron a principios del siglo XX en las excavaciones arqueológicas de la antigua ciudad de Numancia. Se trata de aerófonos de boquilla (labrosones) ultracirculares que tradicionalmente se han interpretado como instrumentos de señalización o como instrumentos para hacer ruido en contextos bélicos. Este artículo presenta el primer trabajo de caracterización acústica de estos instrumentos, que ha permitido comprobar sus posibilidades musicales, su capacidad para articular diferentes tonos y, en consecuencia, producir no sólo señales simples o ruido sino también melodías sencillas. Para realizar el trabajo se llevó a cabo un estudio acústico y musical con reproducciones modernas de estos instrumentos y éstas se compararon con fragmentos de trompetas numantinas originales, lo cual ha aportado nuevos e interesantes datos a la arqueología musical de finales de la Edad del Hierro en la Península Ibérica.

Abstract

Celtiberian pottery trumpets of late Iron Age (3rd-1st centuries B.C.) are known since they were found at the beginnings of twentieth century in the archaeological excavations of the ancient town of Numantia. They are ultracircular labrosone aerophones which have been traditionally interpreted as signaling instruments or instruments used to make noise in war contexts. This paper presents the first work of acoustical characterization of these instruments, which has allowed the checking of their musical possibilities, its capability to articulate different tones and, consequently, to produce not only simple signals or noise but also easy melodies. For this purpose an acoustical and musical study with modern reproductions of these instruments was carried out and such reproductions were compared with fragments of original Numantian trumpets, which has brought new and interesting data to musical archaeology of late Iron Age in the Iberian Peninsula.

Palabras clave

Trompetas celtibéricas, cerámica, reproducciones modernas, estudio acústico, arqueometría, arqueología musical, organología, aerófonos, Edad del Hierro.

INTRODUCCIÓN

Las trompetas¹ de cerámica celtibéricas (Fig. 1), de finales de la Edad del Hierro (siglos III-I a.C.)², conforman uno de los conjuntos arqueo-organológicos más extensos de toda la protohistoria europea. La mayor parte de estos restos se encuentran depositados principalmente en el Museo Numantino de Soria y en el Museo Arqueológico Nacional de Madrid y se hallaron a principios del siglo XX, entre 1906 y 1923, en las excavaciones arqueológicas de la antigua ciudad de Numancia³.

Además de en Numancia, se han documentado también fragmentos en otros yacimientos sorianos como Tiermes, Castiliterreño (Izana), los Castejones (Calatañazor), las Quintanas (Langa de Duero) y Villar del Río, así como en yacimientos de otras provincias, como Libia de los Berones (Herramélluri, La Rioja) y el Castellillo (Alloza, Teruel)⁴. Lo que sí parecen demostrar los hallazgos es que la mayoría se circunscriben al territorio de la Celtiberia Ulterior y, casi exclusivamente, al territorio de la tribu celtibérica de los arévacos, que coincidía de forma aproximada con la actual provincia de Soria. Hasta el momento sólo se conocen tres fragmentos fuera de esta área cultural: un pequeño fragmento en la población segoviana de Coca, que pertenecía al territorio de la tribu celtibérica de los vacceos⁵, y los ya mencionados de una trompeta casi completa en el poblado ibérico del Castellillo (Alloza, Teruel) y un pabellón de trompeta en el municipio de Herramélluri en La Rioja,

Keywords

Celtiberian trumpets, pottery, modern reproductions, acoustic study, archaeometry, musical archaeology, organology, aerophones, Iron Age.

en territorio de la tribu de los berones⁶. Además, es posible que haya otro fragmento en un yacimiento cerca del santuario de Peñalba de Villastar, también en Teruel⁷.



Figura 1. Ejemplar de trompeta de cerámica hallado en Numancia. NI: N-8235. Foto: Alejandro Plaza. Museo Numantino de Soria. Junta de Castilla y León.

Respecto a su interpretación, una de las hipótesis más repetidas en la bibliografía mantiene su posible uso bélico, como un instrumento específico para la guerra, que produciría sonidos de señalización en batalla (como el *cornu* y la tuba romanas), así como ruidos y confusión en el tumulto de la guerra (como afirman los historiadores romanos sobre el uso del *cornyx* celta)⁸. Si bien estos usos no pueden ser rechazados completamente, existen razones para no aceptar que sean la finalidad única de los instrumentos. Por un lado, las trompetas tienen tamaños y tipologías variadas, con lo que varios usos son posibles (incluidos los simbólicos, ya que un ejemplar al menos presenta un tubo no funcional), son muy delicados para su uso en batalla (si la estrategia requería estas señales podrían fallar con facilidad, cuando un simple cuerno de bóvido haría la misma función) y, finalmente, la idea de que los instrumentos como los *cornyx* celtas se usasen solamente para producir ruidos es una interpreta-

1 El término trompeta es más adecuado que el de trompa, utilizado en la bibliografía solamente a partir del trabajo de Wattenberg [WATTENBERG (1963)], sin duda por su forma ultracircular. Sin embargo, la principal diferencia entre trompas y trompetas radica en la configuración del tubo. El de las trompas es cónico y el de las trompetas es cilíndrico. Los tubos de estos instrumentos de cerámica, aunque doblados sobre sí mismos, son claramente cilíndricos. Además, para Von Hornbostel y Sachs [HORNBOSTEL & SACHS (1961)], el término trompeta engloba todos los aerófonos de boquilla. Hoy en día se utiliza la definición de aerófonos de boquilla o labroses, aunque es preferible el uso genérico del término trompeta para evitar un lenguaje demasiado técnico.

2 El problema estratigráfico generado en las excavaciones de principios del siglo XX ha dificultado la adscripción cronológica de las tipologías cerámicas a las distintas fases del yacimiento numantino. Las últimas excavaciones realizadas han permitido reevaluar las cronologías en uso. Es probable que las trompetas pertenezcan, en general, a la fase arévaca de la ciudad (hasta el 133 a.C.), pero quizás alguna sí que sea de fase celtibérica (hasta el 76 a.C.). Para la nueva propuesta cronológica, ver JIMENO *et al.* (2012).

3 MÉLIDA (1908):56-57; TARACENA (1924): 70-72.

4 FIGUEROA (1910): 108; TARACENA (1927): Lám. X,1; TARACENA (1926): 21; TARACENA (1929): 39; ATRIAN (1959): 231.

5 BLANCO (2013): 36-38.

6 JIMÉNEZ PASALODOS *et al.* (2013): 389 y Fig. 2 centro.

7 ALFAYÉ (2004): 155.

8 TARACENA (1924):72; PASTOR (1987):15; SOPEÑA (1995): 104-109.

ción de las fuentes romanas. Esta información de las fuentes no se ajusta ni a las representaciones celtas, en las que este instrumento aparece asociado a rituales, ni a la elaborada manufactura que presentan las trompetas celtibéricas, la cual sugiere unas posibilidades musicales más amplias para estos instrumentos⁹.

Sin embargo, a pesar de la antigüedad de los hallazgos y de la importancia de los mismos, no se han llevado a cabo trabajos de investigación sistemáticos que, por un lado, pongan en valor este patrimonio arqueológico y musical único en Europa y, por otro lado, se apoyen en los avances teórico-metodológicos de disciplinas como la arqueología musical¹⁰ o la arqueometría.

LAS TROMPETAS CERÁMICAS CELTIBÉRICAS COMO INSTRUMENTOS MUSICALES

Un primer estudio de los fragmentos hallados indica que sin duda responden a artefactos que se fabricaron no solamente con una clara intencionalidad sonora, sino también, probablemente, musical en el sentido contemporáneo del término. Desde un punto de vista organológico, se trata de aerófonos ultracirculares que se pueden clasificar como labrosos o trompetas¹¹. Son por lo tanto instrumentos en los que la variación del sonido se consigue por la vibración de los labios del intérprete, que es quien introduce una columna de aire por la embocadura. Los labios funcionan así como una lengüeta. La columna de aire pasa a través del tubo y se amplifica a la salida. Asimismo, se encuadrarían en la categoría de labrosos o trompetas naturales, ya que no tienen elementos mecánicos para modificar el tono, siendo el intérprete el que, con el control de la presión de los labios, hace variar la altura de los sonidos. Los fragmentos documentados de trompetas cerámicas celtibéricas permiten distinguir tres partes: 1) boquilla o embocadura; 2) tubo cilíndrico ultracircular; y 3) pabellón abierto. La embocadura es recta y se presenta al final del cuerpo del instrumento, que está formado por un tubo cilíndrico ultracircular de paredes irregulares doblado sobre la embocadura, que finaliza en un pabellón abierto en forma de campana que sirve para amplificar el sonido. Los ejemplares reconstruidos a partir de fragmentos presentan básicamente dos tamaños: trompetas pequeñas-medianas de entre 12 y 20 cm de diámetro y trompetas grandes de entre 20 y 30 cm de diámetro aproximado¹². Los pabellones suelen tener forma de campana, aunque se han documentado al menos dos ejemplares zoomor-

fos, generalmente de cabeza de lobo¹³. Estos pabellones a veces se muestran decorados con motivos geométricos pintados sobre la superficie del material cerámico, figuras modeladas o decoraciones estampilladas de círculos concéntricos. Las embocaduras presentan una gran similitud con las boquillas de las trompas y los trombones modernos, ya que tienen también forma de copa con un orificio en la parte central y un estrechamiento en la zona que se inserta al tubo.

Desde el punto de vista de la tecnología cerámica estos instrumentos presentan una gran calidad técnica, lo que unido a su original funcionamiento acústico los convierte en un descubrimiento organológico muy importante, no sólo en el ámbito de la Península Ibérica sino en todo el continente europeo, ya que no se conocen instrumentos similares en contextos prehistóricos o protohistóricos europeos. Debido a los pabellones zoomorfos, los más parecidos, desde una perspectiva cultural y simbólica, podrían ser los citados *carnyx*, instrumentos de viento utilizados en el mundo céltico europeo, en parte cronológicamente contemporáneo a los celtíberos hispanos. Sin embargo, estos últimos son aerófonos altos y rectos con tubo cilíndrico, pabellones zoomorfos y fabricados con metal¹⁴. Por lo tanto, desde un punto de vista morfo-tecnológico, no se han encontrado paralelos coetáneos.

Sin embargo, pese al evidente interés organológico y arqueológico de estos instrumentos, hasta el momento no se han realizado estudios sobre sus propiedades acústicas y musicales que, además de caracterizarlos acústicamente permitan demostrar si, efectivamente, tuvieron la capacidad de emitir suficientes sonidos a distintas alturas con los que poder interpretar pasajes sonoros de mayor o menor complejidad.

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El presente trabajo tiene por objeto el estudio acústico y científico-técnico de reproducciones modernas de trompetas de cerámica de época celtibérica y su comparación con el estudio arqueométrico¹⁵ de un conjunto de fragmentos de trompetas numantinas originales. El principal objetivo de esta investigación consistió en determinar si eran instrumentos musicales capaces de emitir diferentes notas y, en consecuencia, articular melodías.

Para llevar a cabo este objetivo se analizaron reproducciones modernas de dos trompetas cerámicas completas, dos fragmentos de otras reproducciones, material arcilloso con el que se realizaron las reproducciones modernas, así como un conjunto de fragmentos originales de trompetas cerámicas antiguas. El propósito principal del estudio acústico consistió en determinar las características acústicas de las reproducciones

9 JIMÉNEZ PASALODOS (2012): 181-186. Sobre la acústica y propiedades musicales del *carnyx*, ver GILBERT *et al.* (2012): 3956-3959 y NEWTON *et al.* (2015).

10 Ver, por ejemplo, el reciente trabajo de ALONSO YLLANA (2016): 37-44, en esta misma revista *Anuario Musical*, sobre aportaciones de la arqueología subacuática al patrimonio organológico.

11 Se han seguido las modificaciones y revisiones sugeridas por el proyecto europeo de museos de música MIMO (2011) a la clasificación organológica de HORNBOSTEL & SACHS de 1914 (1961): 3-29. El término en inglés *labrosón-labrosones* se ha traducido aquí como labrosón-labrosones.

12 JIMÉNEZ PASALODOS *et al.* (2013): 388-390.

13 WATTENBERG (1963): 89-90.

14 JIMÉNEZ PASALODOS *et al.* (2013): 394. PASTOR (1987): 16.

15 La Arqueometría es la disciplina que comprende la aplicación de técnicas químico-físicas en el estudio y conservación de materiales históricos y arqueológicos.

modernas de dichos instrumentos, mientras que el propósito principal del estudio arqueométrico consistió en obtener información sobre la tecnología de producción de estos instrumentos cerámicos. Con el desarrollo de estos objetivos se pretende, en definitiva, contribuir al panorama de la Historia de la Música en general y, en particular, añadir nuevos datos en torno a la tecnología musical de finales de la Edad del Hierro en la Península Ibérica, periodo que hasta el momento resulta muy desconocido en lo que al fenómeno musical se refiere, debido a la escasez de fuentes organológicas.

MATERIALES ANALIZADOS

En este trabajo se estudiaron un total de trece muestras de materiales cerámicos que se distribuyen en dos conjuntos: uno relacionado con las reproducciones modernas de trompetas cerámicas y otro con los fragmentos originales de trompetas cerámicas antiguas. El primer conjunto, cuyas imágenes se muestran en la Fig. 2, consta de los siguientes materiales:

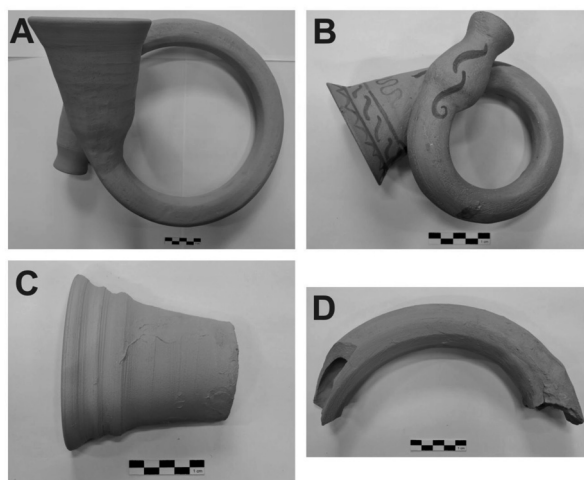


Figura 2. Imágenes de las reproducciones modernas de las trompetas cerámicas. A) Trompeta grande. B) Trompeta pequeña. C) Fragmento de campana. D) Fragmento de tubo circular. Escalas en cm.

- Dos reproducciones modernas de trompetas cerámicas, ambas realizadas por el taller de alfarería tradicional de los Hermanos Padilla Herrera, localizado en el municipio de Bailén (Jaén). La primera de ellas, denominada Trompeta grande y de unos 30 cm de diámetro aproximadamente (Fig. 2A), se realizó con un material arcilloso procedente de Bailén (Arcilla 1), mientras que la segunda, denominada Trompeta pequeña y de unos 15 cm de diámetro aproximadamente (Fig. 2B), se elaboró con un material arcilloso recogido en Castillejo (Arcilla 2), lugar cercano a la

antigua ciudad de Numancia (Garray, Soria)¹⁶. Estas dos reproducciones se realizaron tras un estudio minucioso de los datos publicados sobre trompetas celtibéricas y tras consultar los materiales depositados en los fondos del Museo Numantino de Soria y del Museo Arqueológico Nacional, de forma que las reproducciones fueran lo más similares posible a los ejemplares antiguos. La forma de preparar la arcilla, el uso del torno para modelar las piezas, incluyendo los tubos, y la cocción del material se llevó a cabo siguiendo también los datos que se obtuvieron en un estudio arqueométrico de las producciones cerámicas numantinas publicado en 1998¹⁷. Además, con el fin de que los ejemplares modernos se cocieran de la forma más parecida posible a la empleada en el pasado, las dos trompetas se cocieron en una réplica de un horno cerámico de doble cámara, similar a los usados a finales de la Edad del Hierro, en atmósfera oxidante, a una temperatura aproximada de 950 °C y utilizando leña natural como combustible¹⁸ (Fig. 3).



Figura 3. Reproducción de horno de doble cámara de finales de la Edad del Hierro en el que se cocieron las reproducciones modernas de las trompetas cerámicas.

Foto: Manuel García Heras.

¹⁶ Se agradece al profesor Alfredo Jimeno Martínez, de la Universidad Complutense de Madrid y director de las excavaciones de Numancia, su ayuda en la recogida de arcillas en diversos puntos de los alrededores del yacimiento, en lugares que pudieron haberse utilizado en la antigüedad.

¹⁷ GARCÍA HERAS (1998): 121-129.

¹⁸ Una explicación detallada sobre la construcción del horno y sobre los procesos de cocción llevados a cabo en el mismo se ofrece en PADILLA FERNÁNDEZ *et al.* (2013): 467-475.

- Dos fragmentos correspondientes a otras reproducciones modernas de trompetas cerámicas, realizadas también por el taller de alfarería tradicional de los Hermanos Padilla Herrera. El primero de ellos se corresponde con la campana de una trompeta grande realizada igualmente con arcilla de Bailén (Jaén) (Fig. 2C), mientras que la segunda se corresponde con el tubo circular de una trompeta pequeña elaborada también con arcilla de Castillejo (Fig. 2D)¹⁹.
- Dos materiales arcillosos. La Arcilla 1 procedente de Bailén (Jaén) con la que se elaboró la Trompeta grande y el fragmento de campana; y la Arcilla 2 procedente de Castillejo (Garray, Soria) con la que se elaboró la Trompeta pequeña y el fragmento de tubo circular.

El segundo conjunto, cuyas imágenes se muestran en la Fig. 4, consta de siete fragmentos de trompetas cerámicas celtibéricas originales. Cinco de ellos (NU-1, NU-3, NU-4, NU-5 y N-49) proceden de las excavaciones arqueológicas realizadas a principios del siglo XX en la antigua ciudad de Numancia. El fragmento NU-2 procede del yacimiento de Las Quintanas en Langa de Duero, mientras que el NU-6 procede del yacimiento de Tiermes, ambos en la provincia de Soria. Todos los fragmentos provienen de fondos depositados en el Museo Arqueológico Nacional de Madrid²⁰, excepto el de la muestra N-49, que corresponde a un fragmento de trompeta depositado en el Museo Numantino de Soria. Este último ya fue estudiado en un trabajo arqueométrico anterior²¹, aunque aquí se analizó de nuevo con las mismas técnicas que el resto de fragmentos, con el fin de que los resultados fueran comparables.

TÉCNICAS DE ANÁLISIS Y PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES UTILIZADOS

El estudio acústico se centró, primero, en la determinación de la absorción y de la transmisión acústica del material cerámico y, segundo, en la determinación del espectro de frecuencias y caracterización de dichas frecuencias. La determinación de la absorción y transmisión acústica se realizó con dos tubos de impedancia de 330 mm de longitud: uno de 100 mm de diámetro y otro de 30 mm de diámetro, para poder obtener un espectro amplio de frecuencias (entre 50 Hz y 6 kHz, aproximadamente)²².

¹⁹ Estos dos fragmentos se utilizaron para los análisis mediante las distintas técnicas de caracterización químico-física (ver nota 21), con el fin de que fueran similares a las reproducciones y evitar la toma de muestras de los dos ejemplares completos.

²⁰ Se agradece al Museo Arqueológico Nacional y, especialmente, a Alicia Rodero Riza, conservadora responsable del Departamento de Protohistoria y Colonizaciones, y a la también conservadora del mismo, Esperanza Manso Martín, las facilidades dadas para poder disponer de las muestras estudiadas.

²¹ GARCÍA HERAS (1998): 27-29.

²² Un tubo de impedancia emite ondas a determinadas frecuencias y mide la absorción y/o transmisión de estas ondas por un material.

Las medidas se llevaron a cabo sobre probetas elaboradas a partir de las Arcillas 1 (Bailén) y 2 (Castillejo). Se elaboraron dos probetas circulares con cada arcilla, de 98 y 27 mm de diámetro respectivamente, para que pudieran acoplarse a los tubos de impedancia mencionados anteriormente. Las probetas se cocieron en el laboratorio con un horno eléctrico, siguiendo los mismos parámetros que los utilizados en la elaboración de las reproducciones modernas de las trompetas cerámicas: atmósfera oxidante y temperatura de cocción aproximada de 950 °C.

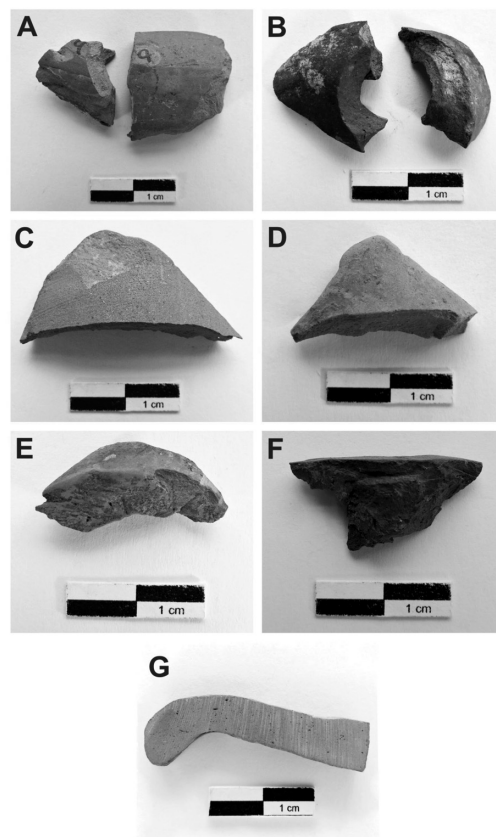


Figura 4. Imágenes de los fragmentos de trompas cerámicas celtibéricas originales. A) Muestra NU-1, sigla NU-192-37-81. B) Muestra NU-2, sigla Langa 1976-84-54. C) Muestra NU-3, sigla NU-192-37-83. D) Muestra NU-4, sigla NU-192-37-84. E) Muestra NU-5, sigla NU-192-37-82. F) Muestra NU-6, sigla 1975-55-5. G) Muestra N-49, sigla N-8222.

En el caso de este instrumento musical sirve para determinar si el sonido se proyecta o se absorbe por el material cerámico con el que fue elaborado. El equipo de medida consistió en un amplificador y procesador bicanal de transformada de Fourier Brüel & Kjaer 2716C y en un sistema multianalizador Brüel & Kjaer 3560 B-030. Los autores agradecen al Dr. Santiago Expósito Paje, de la ETSI de Caminos de la Universidad de Castilla-La Mancha, la realización de estas medidas.

Para determinar el espectro de frecuencias y su caracterización se realizaron grabaciones de sonido e imagen con cada una de las dos reproducciones modernas: Trompeta grande y Trompeta pequeña, generando ficheros .mov. Ambas trompetas se tocaron con la ayuda de una música profesional, especialista en aerófonos de boquilla²³ (Fig. 5). Partiendo de la nota La_4 (440 Hz a 20 °C), que se utilizó como referencia, se efectuaron escalas ascendentes y descendentes, nota a nota, hasta que no era posible emitir la nota más aguda o más grave de la progresión. Esto sirvió para determinar la nota más grave y la más aguda que se podía emitir con una u otra trompeta. Se utilizaron micrófonos de media pulgada situados a una distancia de unos 2 m de la trompeta. Para analizar y caracterizar el espectro de frecuencias se extrajeron los audios de las grabaciones con el programa de edición y tratamiento de audio DAW Reaper 64. Se utilizó un ecualizador en tiempo real y cada frecuencia se analizó en intervalos de tiempo aproximado de entre 1 y 10 ms²⁴.



Figura 5. Grabaciones con las reproducciones modernas de las trompetas cerámicas sonadas por Estefanía García Barrajón, Profesora Superior de Tuba y Bombardino. A) Trompeta grande. B) Trompeta pequeña.

El estudio arqueométrico se llevó a cabo mediante las siguientes técnicas de caracterización químico-física: espectrometría de fluorescencia de rayos X (FRX), lupa binocular, análisis petrográfico mediante lámina delgada, difracción de rayos (DRX), porosimetría de intrusión de mercurio y análisis de microindentación, para determinar dureza y módulo de Young o de elasticidad longitudinal²⁵.

23 Los autores agradecen la inestimable ayuda de Estefanía García Barrajón, Profesora Superior de Tuba y Bombardino, para la realización de este estudio. En el enlace <http://cervitrum.wixsite.com/cervitrum/trompetas-celtibericas> se puede acceder a una selección de los videos grabados.

24 La extracción de los espectros de frecuencias se llevó a cabo en el Laboratorio de Fonética del Instituto de Lengua, Literatura y Antropología del CSIC, Madrid. Los autores agradecen muy especialmente el trabajo realizado por Germán Palero y Marianela Fernández.

25 Los equipos utilizados fueron: espectrómetro de FRX PANalytical Axios de dispersión de longitudes de onda (tubo de rodio de

ESTUDIO ACÚSTICO

A partir de los datos obtenidos con las probetas cocidas elaboradas a partir de la Arcilla 1 (Bailén) y de la Arcilla 2 (Castillejo) se puede indicar que los materiales no muestran ninguna absorción sonora en el intervalo de frecuencias estudiado: entre 50 Hz y 6 kHz, aproximadamente (Fig. 6). Es decir, el sonido se transmite prácticamente en su totalidad en estos materiales cerámicos, por lo que su comportamiento sería muy similar al que tendría un material metálico.

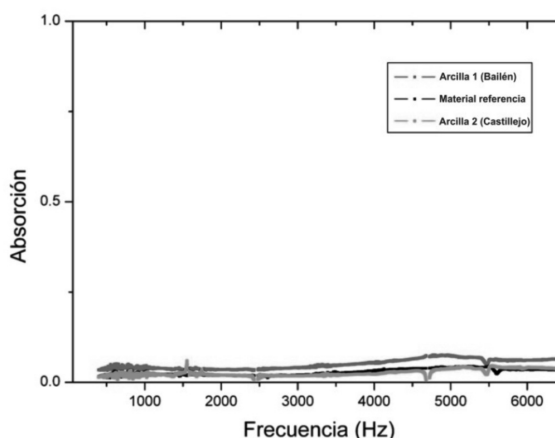


Figura 6. Absorción acústica de las probetas elaboradas a partir de la Arcilla 1 (Bailén) y de la Arcilla 2 (Castillejo).

Las reproducciones modernas de las dos trompetas (Trompeta grande y Trompeta pequeña) se sonaron en sesiones consecutivas. La variación del sonido de cada una de las trompetas se consiguió por la vibración de los labios, que es la técnica habitual con la que se suenan en la actualidad. Con la Trompeta grande se consiguió una extensión sonora de tres octavas, mientras que con la Trompeta pequeña la extensión sonora fue de tres octavas y media, media octava más amplia que con la Trompeta grande.

Con la Trompeta grande y partiendo de la nota La_4 se realizó una escala descendente en la que pudieron sonarse hasta nueve notas consecutivas, es decir, hasta la nota Sol que va después del La_3 , o lo que es lo mismo, una octava inferior a la nota La_4 . El espectro de frecuencias de esta escala descendente se ofrece en la Fig. 7. En ella se puede apreciar que en la primera nota, el La_4 de referencia,

4 kW y 60 kV) usando pastilla prensada a partir de polvo molido de la muestra; lupa Motic SMZ 168; microscopio petrográfico de polarización Kyowa Bio Pol 2 y cámara digital Moticam 2500, difractorómetro PANalytical X'Pert MPD (45 kV, 40 mA, $2\theta = 5-60^\circ$), porosímetro de intrusión de mercurio Quantachrome PoreMaster e indentador universal modelo Apex-1 de CETR Equipments.

se observan armónicos regulares a ~ 400 Hz, ~ 1 kHz y $\sim 1,8$ kHz, con intensidades entre -24 y -30 dB, mientras que a partir de ~ 2 kHz se produce claramente ruido “no musical”²⁶. En las tres siguientes notas (Sol, Fa, Mi) estos mismos armónicos se pueden seguir más o menos con regularidad. Sin embargo, a partir de la nota Re, la única frecuencia clara se produce en torno a 350 Hz y apenas se distinguen armónicos a mayores frecuencias. Este fenómeno se

repite en las notas siguientes hasta la última nota Sol tras el La_3 , en las que casi todo el espectro de frecuencias puede considerarse ruido, lo cual significa que en las notas más graves la Trompeta grande no proporciona un sonido con brillo y buen timbre. Esto mismo se puede observar también en el diagrama de energías de la Fig. 8 en la que los niveles de intensidad sonora decrecen a frecuencias mayores en las últimas notas de la escala descendente.

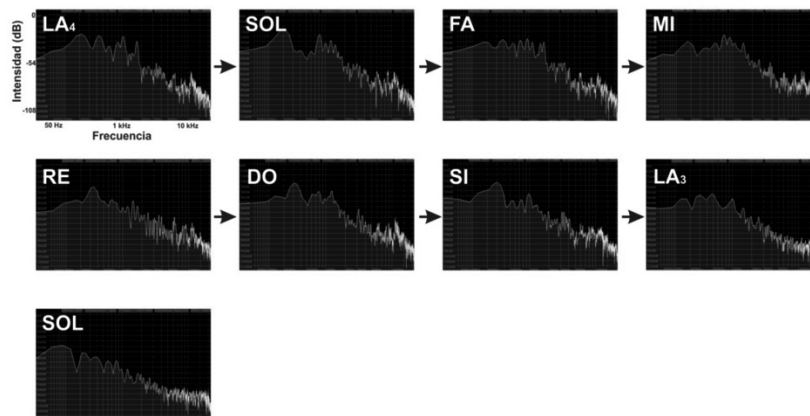


Figura 7. Trompeta grande. Frecuencias e intensidades de una escala descendente a partir de la nota La_4 . Extensión: una octava.

En la escala ascendente, realizada también a partir de la nota La_4 , pudieron sonarse hasta quince notas consecutivas, es decir, hasta la nota La_6 , o lo que es lo mismo, dos octavas superiores a la nota La_4 . El espectro de frecuencias de esta escala ascendente se ofrece en la Fig. 9. En el La_4 de referencia se observan hasta seis armónicos regulares a ~ 450 Hz, ~ 700 Hz, ~ 900 Hz, $\sim 1,1$ kHz, $\sim 1,6$ kHz y $\sim 1,8$ kHz, con intensidades entre -24 y -42 dB. A partir de aproximadamente 2 kHz se produce ruido “no musical”. En las notas siguientes estos mismos armónicos se distinguen con claridad excepto en la nota Fa_4 , mientras que a partir de la siguiente nota Sol y hasta la última nota La_6 hay sobre todo tres armónicos (en torno a 500 Hz y a 1,4 y 1,9 kHz, respectivamente) que van creciendo en intensidad a medida que las notas van siendo más agudas. De hecho, a partir de la segunda octava (nota La_5) y hasta la última nota La_6 , incluso se distinguen con cierta claridad armónicos situados entre 2 y 3 kHz. Esto significa que la Trompeta grande, a medida que las notas van siendo más agudas, proporciona un sonido con mejor brillo y timbre que en las notas más graves. La intensidad sonora de dichos armónicos puede observarse en el diagrama de energías de la Fig. 8.

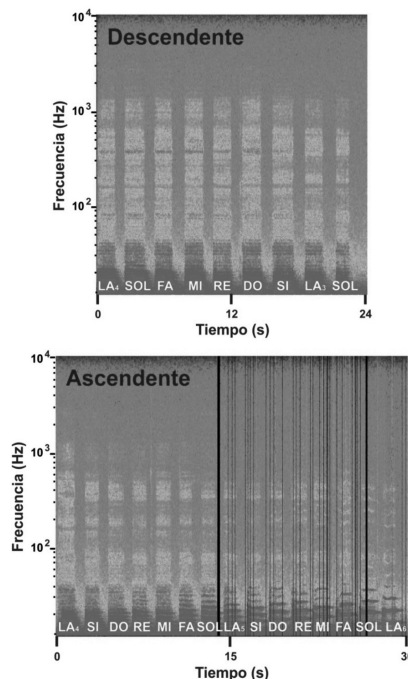


Figura 8. Diagrama de energías de la Trompeta grande para una escala descendente y una ascendente a partir de la nota La_4 . El color indica la intensidad sonora en dB. Rojo: intenso. Naranja: medio. Verde: débil. Las líneas negras se corresponden con saltos en la secuencia de sonido.

²⁶ Para una definición de ruido “no musical” ver CALVO-MANZANO (2002): 84-85.

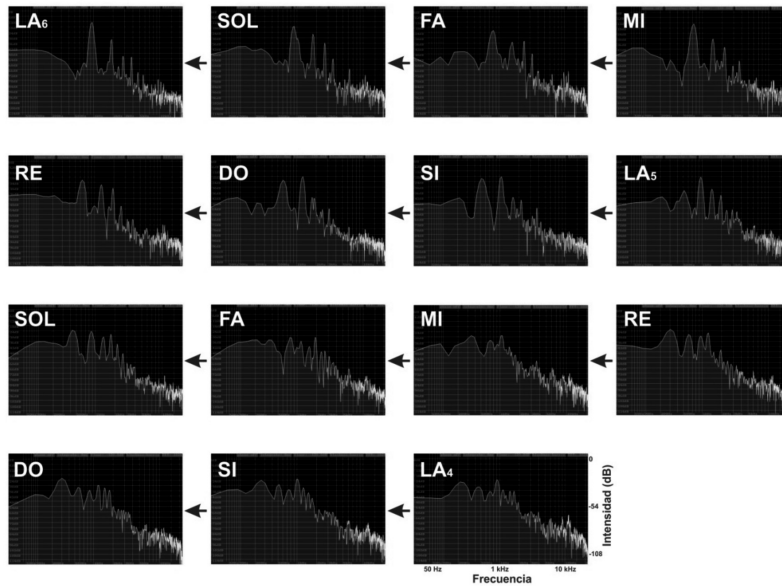


Figura 9. Trompeta grande. Frecuencias e intensidades de una escala ascendente a partir de la nota La_4 . Extensión: dos octavas.

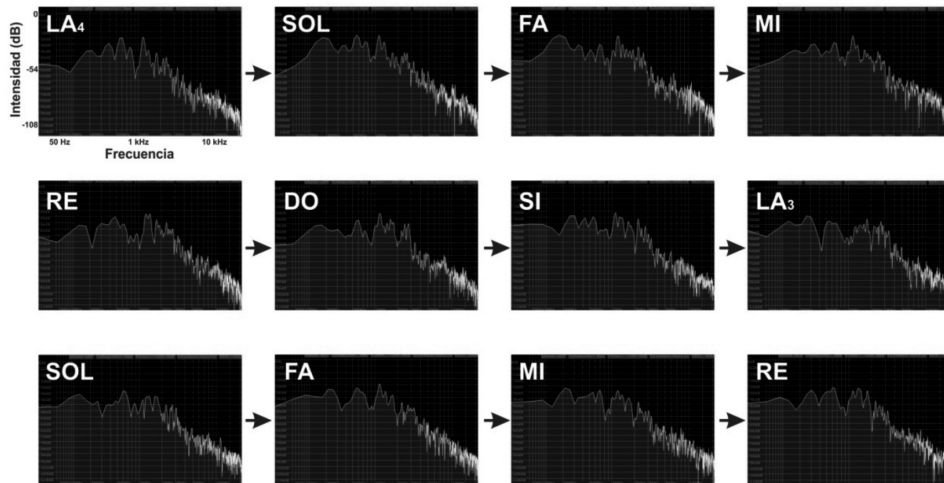


Figura 10. Trompeta pequeña. Frecuencias e intensidades de una escala descendente a partir de la nota La_4 . Extensión: una octava y media.

Con la Trompeta pequeña se realizó igualmente una escala descendente a partir de la nota La_4 en la que pudieron sonarse hasta doce notas consecutivas, es decir, hasta la nota Re después del La_3 , o lo que es lo mismo, una octava y media inferior a la nota La_4 . El espectro de frecuencias de esta escala descendente se ofrece en la Fig. 10. En la primera nota La_4 de referencia se aprecian réplicas armónicas regulares a 400, 500 y 800 Hz, así como a 1,2 y 1,8 kHz y con intensidades entre -24 y -36 dB

principalmente, mientras que a partir de ~2 kHz se produce ruido “no musical”. En las siguientes notas hasta la octava inferior La_3 , dichos armónicos van desdibujándose poco a poco hasta el punto de que en las últimas notas son casi imperceptibles, con variaciones de apenas 5-10 dB de intensidad sonora y en la que el espectro de frecuencias puede considerarse casi todo ruido. Al igual que en la Trompeta grande, la Trompeta pequeña también produce un sonido poco brillante en las notas más graves,

a pesar de que con ella es posible sonar hasta tres notas más bajas que con la Trompeta grande. En el diagrama de energías de la Fig. 11 se observa que los niveles de intensidad sonora son muy intensos a frecuencias bajas en las notas de la escala descendente.

En la escala ascendente desde la nota La_4 pudieron sonarse también hasta quince notas consecutivas, esto es, dos octavas superiores a la nota La_4 . El espectro de frecuencias de esta escala ascendente lo proporciona la Fig. 12. En la nota La_4 de referencia se observa una serie de armónicos a ~ 500 , ~ 700 y ~ 900 Hz; así como a $\sim 1,2$, $\sim 1,4$, $\sim 1,6$, $\sim 1,8$ y $\sim 2,5$ kHz, con intensidades entre -28 y -42 dB. En este caso es desde aproximadamente 3 kHz cuando se produce ruido “no musical”. Estos mismos armónicos se pueden distinguir con mayor o menor claridad en las siguientes notas de la escala, hasta la nota La_5 . A partir de aquí y desde la nota siguiente Si , los armónicos que se muestran con mayor intensidad son los correspondientes a ~ 500 y ~ 800 Hz y a $\sim 1,4$, $\sim 1,8$ y $\sim 2,5$ kHz. Este fenómeno es similar al que ocurría en la Trompeta grande y significa que a medida que las notas son más agudas los sonidos van teniendo mejor brillo y timbre que en las notas más graves. La intensidad sonora de estas frecuencias es apreciable en el diagrama de energías de la Fig. 11.

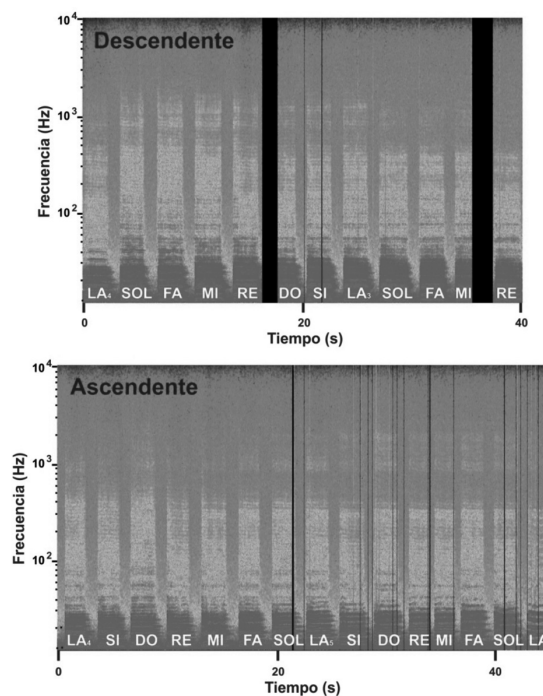


Figura 11. Diagrama de energías de la Trompeta pequeña para una escala descendente y una ascendente a partir de la nota La_4 . El color indica la intensidad sonora en dB. Rojo: intenso. Naranja: medio. Verde: débil.

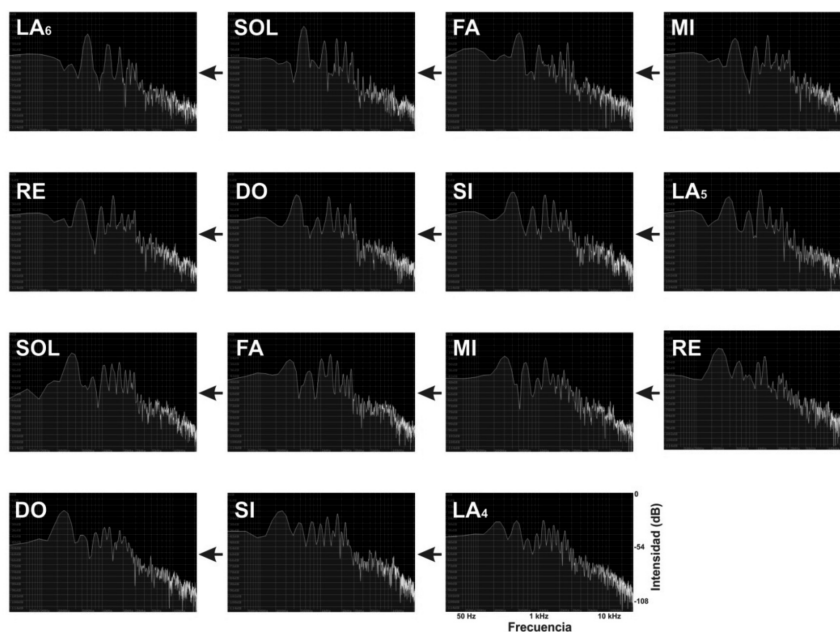


Figura 12. Trompeta pequeña. Frecuencias e intensidades de una escala ascendente a partir de la nota La_4 . Extensión: dos octavas.

Tanto en la Trompeta grande como en la Trompeta pequeña se observó que en la mayoría de las notas emitidas dentro de las tres octavas de extensión que cubren ambas trompetas, suelen aparecer los tres o cuatro primeros armónicos regulares, que son los múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de la nota. Esto es, el primer armónico es la octava de la frecuencia, el segundo un intervalo de quinta justa, el tercero un intervalo de cuarta justa y así sucesivamente. Por ejemplo, si la frecuencia es de ~220 Hz para el La₄ emitido por la Trompeta grande en la escala ascendente (Fig. 9), el siguiente armónico es su octava (el doble ~440 Hz) y el siguiente su quinta (660 Hz), etc. Sin embargo, en los espectros de frecuencias de ambas trompetas también aparecen armónicos irregulares, es decir, armónicos que no son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental y que poseen frecuencias e intensidades que no guardan relación con la frecuencia fundamental de la nota o notas emitidas. Esto hace que el sonido sea menos claro y brillante. Estas características se observaron sobre todo en las notas de las escalas descendentes, en las que a menudo el sonido resulta sucio y con poco timbre. Por el contrario, las frecuencias fundamentales de las notas más agudas emitidas por ambas trompetas son las que tienen más armónicos regulares, por lo que su sonido resulta más brillante y con un mejor timbre.

ESTUDIO ARQUEOMÉTRICO

Los resultados del análisis químico de las dos reproducciones modernas (Trompeta grande y Trompeta pequeña) y de los siete fragmentos de trompetas cerámicas celtibéricas originales se muestran en la Tabla 1. Estos resultados indican que las reproducciones modernas se han elaborado con materiales arcillosos calcáreos (~12,00 % en peso de CaO). Respecto a los fragmentos originales, la muestra NU-2 tiene un porcentaje muy cercano (9,46 % en peso de CaO), más bajo la muestra NU-6 (3,36 % en peso), mientras que la concentración se halla próxima al 1,00 % en peso en el resto de las muestras.

La composición química indica que las trompetas antiguas halladas en Numancia se realizaron con materiales arcillosos poco calcáreos. No obstante, también se elaboraron trompetas con materiales arcillosos calcáreos de composición química muy próxima a la de las reproducciones modernas, como sugieren los datos del ejemplar hallado en Langa de Duero (NU-2), así como trompetas con material arcilloso intermedio (contenido en CaO de 3,36 % en peso en el ejemplar procedente del yacimiento de Tiermes). Por otro lado, los datos de composición química sugieren que las trompetas NU-2 de Langa de Duero y NU-6 de Tiermes no se elaboraron con las mismas materias primas que las trompetas halladas en Numancia y que, por consiguiente, no procedían de Numancia. Esto indica por tanto que en cada asentamiento se elaboraban sus propias trompetas cerámicas.

Tabla 1. Resultados del análisis químico (% en peso).

Muestra	Óxidos									
	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	SrO	BaO
Trompeta grande (Bailén)	1,87	14,50	60,38	0,27	3,21	12,38	0,95	6,33	0,05	0,06
Trompeta pequeña (Castillejo)	2,20	14,96	61,17	0,09	2,87	11,60	0,95	5,85	0,25	0,06
NU-1	0,86	23,35	61,19	0,23	4,81	0,33	1,00	8,00	0,17	0,06
NU-2	1,00	21,48	55,17	0,10	4,17	9,47	0,91	7,51	0,15	0,04
NU-3	0,80	22,70	62,23	0,10	4,87	0,98	1,06	7,01	0,20	0,05
NU-4	0,71	22,90	61,14	0,14	4,78	0,90	1,20	8,02	0,17	0,04
NU-5	0,80	22,67	63,64	0,19	4,06	0,86	1,00	6,57	0,16	0,05
NU-6	2,20	22,21	57,65	0,38	3,83	3,40	1,09	9,18	0,03	0,03
NU-49	0,52	25,08	62,00	0,05	4,53	0,64	0,86	6,32	---	---

--- no determinado.

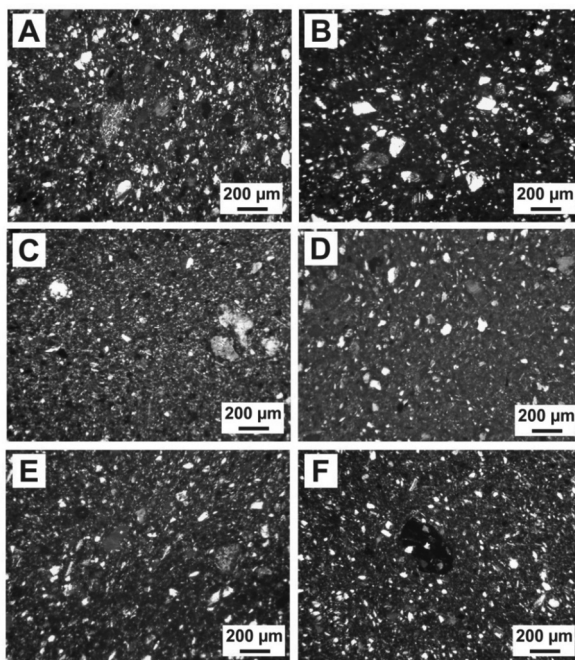


Figura 13. Imágenes de microscopía petrográfica con nicóles cruzados. A) Reproducción de Trompeta grande. B) Reproducción de Trompeta pequeña. C) Muestra NU-2. D) Muestra NU-3. E) Muestra NU-6. F) Muestra NU-49.

Las muestras de las reproducciones modernas presentan una matriz arcillosa homogénea, poco birrefringente y con inicios de vitrificación, como corresponde a materiales cerámicos cocidos a una temperatura aproximada de 950 °C. En la reproducción llamada Trompeta grande las inclusiones tienen un tamaño inferior a 400 µm y están compuestas por cuarzo monocristalino, plagioclasa (feldes-

pato sódico), calcita, mica, óxidos de hierro opacos y fragmentos de foraminíferos (conchas), con hábitos generalmente redondeados y sub-redondeados (Fig. 13A). En la reproducción llamada Trompeta pequeña se observa una buena selección del material arcilloso de partida, con inclusiones de tamaño inferior a $350\ \mu\text{m}$ compuestas por cuarzo mono y policristalino, plagioclasa (feldespato sódico), calcita, óxidos de hierro y escasas micas (Fig. 13B).

Las muestras de trompetas antiguas presentan también una matriz arcillosa homogénea, aunque más birrefringente y sin apenas inicios de vitrificación, lo cual indica que estos materiales cerámicos se cocieron a una temperatura algo inferior²⁷. En general, las matrices muestran coloraciones entre marrones y rojizas (Fig. 13C, D y F), que se corresponden con materiales cerámicos cocidos en atmósfera oxidante, es decir, con abundancia de oxígeno. Incluso las matrices de las muestras NU-2 (Fig. 13C) y NU-6 (Fig. 13E) son de color marrón, a pesar de que exhiben un color gris oscuro en superficie (Fig. 4B y 4F, respectivamente). En las muestras de trompetas antiguas se observa una buena selección del material arcilloso de partida, con inclusiones de pequeño tamaño, en general no superiores a $500\ \mu\text{m}$. Dichas inclusiones se componen de cuarzo principalmente monocristalino, cristales de mica y óxidos de hierro opacos. Tienen hábito redondeado en consonancia con un material arcilloso muy bien seleccionado.

Los parámetros de distribución de tamaño y diámetro de poros, así como de porcentaje de porosidad total obtenidos mediante porosimetría de intrusión de mercurio se exponen en la Tabla 2. Las reproducciones modernas mostraron un porcentaje de porosidad total muy similar: 36,8 % para la Trompeta grande y 37,9 % para la Trompeta pequeña. El diámetro medio de los poros también fue muy similar (0,2 frente a 0,3 nm), mientras que su tamaño máximo fue ligeramente superior en la Trompeta grande ($178,8\ \mu\text{m}$ frente a $156,0\ \mu\text{m}$ en la Trompeta pequeña).

Tabla 2. Resultados de distribución de tamaño y diámetro de poros y de porosidad total.

Muestra	Tamaño de poros máximo (μm)	Diámetro de poros medio (nm)	Porosidad total (%)
Trompeta grande (Bailén)	178,8	0,2	36,8
Trompeta pequeña (Castillejo)	156,0	0,3	37,9
NU-1	202,3	0,5	35,4
NU-2	211,5	0,3	46,6
NU-3	212,4	0,1	37,0
NU-4	235,8	0,4	34,2
NU-5	236,6	0,3	36,5
NU-6	220,6	0,1	28,3
N-49	118,6	0,6	31,7

²⁷ En torno a $850\ ^\circ\text{C}$ aproximadamente, según indicaron los datos obtenidos mediante DRX.

Las trompetas antiguas mostraron un porcentaje de porosidad total situado entre 28,3 % para la muestra NU-6 y 46,6 % para la muestra NU-2. No obstante, las trompetas procedentes de Numancia (NU-1, NU-3, NU-4, NU-5 y N-49) mostraron una porosidad muy uniforme con un porcentaje total situado en el intervalo 31,7-37,0 %, es decir, un porcentaje muy próximo al mostrado por las reproducciones modernas. De hecho, en el caso de las muestras NU-3 y NU-5 el porcentaje es similar al de las trompetas modernas.

En las trompetas antiguas, si se exceptúa la muestra N-49, el tamaño de poros máximo es más uniforme y ligeramente superior que en las reproducciones modernas (entre 202,3 y $236,8\ \mu\text{m}$), mientras que el diámetro de poros medio presenta más dispersión (entre 0,1 y 0,6 nm). De todas formas, las muestras NU-2 y NU-5 tienen un diámetro de poros medio similar al de la reproducción moderna de la Trompeta pequeña.

La Tabla 3 ofrece los resultados de los análisis de microindentación correspondientes a dureza y módulo de Young o de elasticidad longitudinal. Los valores de dureza en las reproducciones modernas se sitúan entre 0,3 para la Trompeta grande y 0,4 GPa para la Trompeta pequeña. En las trompetas antiguas los valores de dureza determinados se situaron entre 0,3 GPa para la trompeta NU-4 y 0,7 GPa para las trompetas NU-2, procedente de Langa de Duero, y NU-6 procedente de Tiermes, respectivamente. Ambas trompetas se cocieron en atmósfera predominantemente reductora²⁸, como indica su coloración gris oscuro (Fig. 4B y 4F), lo cual sugiere que este tipo de atmósfera podría haber producido un material cerámico algo más duro que el del resto de las trompetas. Los valores de dureza de las muestras NU-4 y N-49 son similares a los obtenidos en las reproducciones modernas.

Tabla 3. Resultados del análisis de microindentación: dureza y módulo de Young²⁹.

Muestra	Dureza (GPa) Media (Des. est.)	Módulo de Young (GPa) Media (Des. est.)
Trompeta grande (Bailén)	0,3 (0,1)	13 (2,93)
Trompeta pequeña (Castillejo)	0,4 (0,1)	13 (3,04)
NU-1	0,5 (0,1)	21 (0,13)
NU-2	0,7 (0,2)	24 (4,08)
NU-3	0,5 (0,2)	19 (3,10)
NU-4	0,3 (0,1)	11 (2,84)
NU-6	0,7 (0,2)	24 (5,11)
N-49	0,4 (0,2)	10 (2,23)

Des. est. Desviación estándar.

²⁸ Es decir, en una atmósfera con escasez de oxígeno.

²⁹ En la muestra NU-5 no se realizó el análisis de microindentación debido a que el fragmento disponible no tenía un tamaño suficiente para poder realizar el análisis con garantías.

Los valores de elasticidad longitudinal son similares en las dos reproducciones modernas (13 GPa). Las trompetas antiguas mostraron, por el contrario, bastante dispersión en este parámetro, ya que sus valores se situaron entre 10 y 24 GPa. Igual que en la dureza, los valores de elasticidad más elevados (24 GPa) se correspondieron con la trompeta NU-2 procedente de Langa de Duero y con la trompeta NU-6 procedente de Tiermes, ambas cocidas en atmósfera reductora como se ha indicado anteriormente. Las muestras NU-4 (11 GPa) y N-49 (10 GPa) son las que presentaron los valores de elasticidad longitudinal más próximos a los de las reproducciones modernas.

VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS ACÚSTICOS Y ARQUEOMÉTRICOS

Los resultados del estudio acústico de las reproducciones de trompetas antiguas han revelado que este material cerámico no absorbe el sonido en un intervalo de frecuencias de entre 50 Hz y 6 kHz. Además, el estudio acústico ha demostrado que con estas trompetas es posible emitir y articular notas en una extensión sonora de más de tres octavas, con un timbre peculiar pero aceptable, especialmente en la zona central de esta extensión sonora. La distribución de los armónicos en las notas más extremas, sobre todo en las más graves, suele ser irregular, por lo que a veces las réplicas armónicas se diluyen en lo que puede considerarse ruido “no musical”. Esto indica claramente que se trata de un instrumento de viento de afinación indefinida, ya que presenta frecuencias de resonancia inarmónicas. Las frecuencias fundamentales que puede producir el tubo se organizan de una forma alejada de la serie armónica convencional. En cualquier caso, esto demuestra que con estos aerófonos es posible emitir notas diferentes, escalas descendentes o ascendentes, acordes en modo mayor arpegiados e, incluso, articular melodías sencillas³⁰. Su particularidad tímbrica y la organización de la serie de frecuencias puede relacionarse, probablemente, con la longitud del tubo y la configuración interna del mismo, que presenta una forma cilíndrica irregular producida por el pliegue interior, que en algunos ejemplares es de un espesor significativo, alterando de esta forma la onda producida por un tubo cilíndrico uniforme, sobre todo en los armónicos de las frecuencias fundamentales más graves. En los ejemplares arqueológicos se observan claras diferencias entre aquellos tubos realizados con menos alteraciones del cilindro, lo que requeriría de una gran técnica por parte de los alfareros numantinos.

Por lo tanto, los resultados obtenidos resuelven con claridad el principal interrogante de esta investigación, que era determinar si estas trompetas cerámicas pueden considerarse

bocinas o también instrumentos musicales. Los resultados del estudio acústico demuestran de forma contundente que las características morfológicas y acústicas permiten su uso como instrumentos musicales aerófonos con los que hacer melodías sencillas, y no solamente uno o dos sonidos para emitir señales acústicas.

Los resultados del estudio arqueométrico de las reproducciones de trompetas antiguas elaboradas con materiales cerámicos demuestran que es posible realizar instrumentos musicales con este tipo de material mediante técnicas alfareras tradicionales. La caracterización químico-física del material cerámico así obtenido indica que se pueden elaborar trompetas con materiales arcillosos actuales convenientemente preparados y acondicionados, que pueden cocerse con éxito en un horno tradicional de doble cámara en atmósfera oxidante y a una temperatura próxima a 950 °C utilizando leña natural como combustible. Este proceso proporciona un material cerámico de matriz homogénea, con porosidad total de entre 37 y 38 %, un tamaño de poro máximo inferior a 180 μm y valores de dureza (0,3-0,4 GPa) y elasticidad lineal (13 GPa) relativamente bajos.

Con el estudio arqueométrico se pretendió también establecer comparaciones con los ejemplares de trompetas antiguas originales, ya que es del todo imposible realizar en ellos un estudio acústico al no haber llegado hasta nuestros días instrumentos completos. La caracterización químico-física de los fragmentos antiguos estudiados indica que se elaboraron también con materiales arcillosos calcáreos y no calcáreos, que se cocieron a una temperatura algo inferior (850 °C) y tanto en atmósfera oxidante (oxígeno abundante) como reductora (escasez de oxígeno). Estos datos indican que se producía, en comparación con las reproducciones modernas, un material cerámico de matriz igualmente homogénea, con porosidad total muy similar (~36 %), tamaño de poro máximo entre 200 y 240 μm y valores de dureza y elasticidad sólo muy ligeramente superiores. Por ello, desde el punto de vista tecnológico, el material cerámico de estos fragmentos de trompetas antiguas es muy similar y se elaboró con toda probabilidad de un modo muy parecido, por lo que puede establecerse una comparación segura con los datos obtenidos en las reproducciones modernas. Aunque no ha sido posible disponer, por razones obvias de conservación de estos ejemplares únicos de trompetas antiguas, de una muestra suficiente para estudiar su absorción sonora, sus características microestructurales (composición química, textura, porosidad, dureza o módulo de elasticidad longitudinal) son muy parejas a las que muestran las reproducciones modernas. Por tanto, es posible establecer una conexión con éstas y mantener que, con toda probabilidad, las conocidas trompetas celtibéricas de cerámica, sin descartar que pudieran tener usos de señalización o pudieran utilizarse para producir ruidos, fueron instrumentos musicales con los que fue posible articular melodías sencillas, en un sistema musical que resulta muy difícil que se pueda llegar a conocer. Estas propiedades musicales harían estos instrumentos aptos para hacer música como solistas, en grupos de trompetas o acompañados de otros instrumentos.

30 De hecho, Estefanía García Barrajón, Profesora Superior de Tuba y Bombardino, fue capaz de articular, durante las grabaciones de sonido e imagen, la conocida melodía de *El patio de mi casa* con la Trompeta grande o la canción *Frère Jacques* con la Trompeta pequeña, con una afinación más que aceptable. En el enlace <http://cervitrum.wixsite.com/cervitrum/trompetas-celtibericas> se puede acceder a estas grabaciones.

CONCLUSIONES

El estudio acústico de reproducciones modernas de trompetas cerámicas celtibéricas y su comparación con el estudio arqueométrico de un conjunto de fragmentos de trompetas celtibéricas originales ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

–El material cerámico de las reproducciones modernas de trompetas celtibéricas no absorbe el sonido en el intervalo de frecuencias comprendido entre 50 Hz y 6 kHz.

–La Trompeta grande de 30 cm de diámetro tiene una extensión sonora de tres octavas. Su sonido es más brillante y tiene un mejor timbre en las notas agudas que en las graves.

–La Trompeta pequeña de 15 cm de diámetro tiene una extensión sonora de tres octavas y media. Su sonido también es más brillante y tiene un mejor timbre en las notas agudas que en las graves.

–Con ambas trompetas fue posible emitir y articular notas, así como escalas descendentes y ascendentes. También fue posible articular acordes en modo mayor arpegiados y melodías sencillas.

–En la mayoría de las notas emitidas por ambas trompetas la distribución de los armónicos suele ser irregular, por lo que a veces las réplicas armónicas se diluyen en lo que se considera ruido “no musical”. Se trata, por tanto, de instrumentos aerófonos de afinación indefinida.

–En ambas trompetas el sonido de las notas y sus armónicos se distribuye en un intervalo de frecuencias comprendido entre 70-80 Hz y 2-3 kHz. Este intervalo se halla dentro del ensayado con los tubos de impedancia y es un intervalo en el que este material cerámico no presenta absorción sonora, por lo que prácticamente todo el sonido se proyecta por el pabellón o campana de la trompeta.

–Dado que el material cerámico de las trompetas antiguas es, desde el punto de vista tecnológico, muy similar, se puede establecer una comparación fiable con las reproducciones modernas.

–Los resultados demuestran que las trompetas celtibéricas de cerámica, aunque no se descarta que se usaran también para señalización, pueden producir varios tonos y articular melodías y pasajes sonoros más sencillos. Son instrumentos aptos para hacer música como solistas o acompañados de otras trompetas o de otro tipo de instrumentos. Al ser excelentes alfareros, los celtíberos elaboraron sus instrumentos musicales con materiales cerámicos en vez de utilizar el metal como el mundo céltico europeo hizo con los *carnyx*, aunque hay que señalar que los celtíberos también poseían un buen conocimiento tecnológico de los materiales metálicos.

–Las trompetas antiguas procedentes de Numancia son muy similares entre sí, mientras que las trompetas procedentes de Langa de Duero y Tiermes presentan características distintivas respecto a las de Numancia, lo cual sugiere que en cada yacimiento se elaboraban sus propias trompetas.

CONSIDERACIONES FINALES

La música es un aspecto fundamental de todas las culturas conocidas y fue también, por ende, un elemento muy importante de las sociedades del pasado, estrechamente relacionado con aspectos simbólicos, sociales y culturales, y utilizada en distintos contextos, incluidos los rituales. Sin embargo, en la mayoría de las ocasiones, resulta difícil extraer este tipo de información a partir de hallazgos de cultura material. El caso de las trompetas cerámicas celtibéricas ejemplifica este tipo de problemas. Por un lado, los datos obtenidos en este estudio indican que los celtíberos elaboraban estas trompetas cerámicas con una clara finalidad sonora y que, acústicamente, son perfectamente funcionales para articular melodías. Lo que los datos no permiten es demostrar, más allá de una mera especulación, el carácter simbólico y/o ritual que pudiera tener la música que hacían los celtíberos con estos instrumentos. Este código, lamentablemente, no es posible recuperarlo ya que se ha ido perdiendo a lo largo del tiempo transcurrido desde finales de la Edad del Hierro, aunque la compleja elaboración de los instrumentos y la presencia de pabellones de forma zoomorfa de cabeza de lobo puede ser una prueba de su importancia cultural y su posible dimensión simbólica y/o ritual.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo se ha realizado en el marco del proyecto europeo EMAP (European Music Archaeology Project), financiado por el Programa Cultural de la EACEA (Education, Audiovisual and Culture Executive Agency) (Ref. 536370-CU-1-2013). Los autores también agradecen el apoyo profesional de TechnoHeritage, Red de Ciencia y Tecnología para la Conservación del Patrimonio Cultural.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfayé Villa, Silvia, “La Escondilla: un posible yacimiento celtibérico en las proximidades de Peñalba de Villastar (Teruel)”. En Beltrán Lloris, Francisco (coord.), *Antiqua iuniora: en torno al Mediterráneo en la Antigüedad*. Zaragoza, Universidad de Zaragoza, 2004, 155-171.
- Alonso Yllana, Jesús, “Aportaciones de la arqueología subacuática al patrimonio organológico”, *Anuario Musical*, 71 (2016), 37-44.
- Atrián Jordán, Purificación, “Excavaciones en el poblado ibérico “El Castellillo” (Alloza, Teruel). Segunda y Tercera campañas”, *Teruel*, 22 (1959), 225-260.
- Blanco García, Juan Francisco “Un fragmento de trompa de guerra vaccea de cerámica”, *Oppidum. Cuadernos de Investigación*, 10 (2002), 35-46.
- Calvo-Manzano, Antonio, *Acústica físico-musical*. Madrid, Real Musical, 2002.
- Figueroa y Torres, Álvaro (Conde de Romanones), *Ruinas de Termes*. Madrid, Establecimiento tipográfico y editorial, 1910.

- García Heras, Manuel, *Caracterización arqueométrica de la producción cerámica numantina*. Oxford, Archaeopress, British Archaeological Reports International Series 692, 1998.
- Gilbert, Joël, Brasseur, Emmanuel, Dalmont, Jean-Pierre, Maniquet, Christophe, *Acoustical evaluation of the Carnyx of Tintignac*. Nantes, Société Française d'Acoustique, 2012.
- Hombostel, Erich von y Sachs, Curt, "Classification of musical instruments", *The Galpin Society Journal*, 14 (1961), 3-29.
- Jiménez Pasalodos, Raquel, "The archaeology of the musical performance: the example of Second Iron Age aerophones". En Compañy, Gonzalo; Fonte, João; Gómez-Arribas, Beatriz; Moragón Martínez, Lucía; y Señorán Martín, José María (coords.), *Arqueología para el siglo XXI. Actas de las V Jornadas de Jóvenes en Investigación Arqueológica*. Santiago de Compostela, JAS Arqueología, 2012, 181-186.
- Jiménez Pasalodos, Raquel, "Arqueología musical y etnomusicología: por una interpretación etnomusicológica de los materiales arqueológicos", *Etno-Folk: Revista Galega de Etnomusicología*, 14-15 (2009), 637-654.
- Jiménez Pasalodos, Raquel, García Benito, Carlos y Padilla Fernández, Juan Jesús, "Las trompas numantinas: aproximación a su estudio acústico en una cocción experimental con una reproducción de un horno de la Segunda Edad del Hierro". En Palomo, Antoni; Piqué, Raquel; Terradas, Xavier (eds.), *Experimentación en arqueología. Estudio y difusión del pasado*. Girona, Museu d'Arqueologia de Catalunya, 2013, 387-395.
- Jimeno Martínez, Alfredo; Chaín Galán, Antonio; Quintero, Sergio; Licerias, Raquel; y Santos, Ángel, "Interpretación estratigráfica de Numancia y ordenación cronológica de sus cerámicas", *Complutum*, 23/1 (2012), 203-218.
- Mélida Alinari, José Ramón, *Excavaciones de Numancia*. Madrid, Tirada aparte de la Revista de Archivos, Bibliotecas y Museos, 1908.
- Newton, Michael; Kenny, John; Chick, John; López-Carronero, Amaya; Campbell, Donald Murray; y Gilbert, Joel, "The Tintignac carnyx: an acoustical study of an early brasswind instrument", *Journal of the Acoustical Society of America*, 138/3 (2015).
- Padilla Fernández, Juan Jesús; Jiménez Pasalodos, Raquel; García Benito, Carlos; y Chapón, Linda, "La cadena técnica operativa del alfar de Las Cogotas (Cardeñosa, Ávila): La construcción experimental de un horno cerámico de la II Edad del Hierro". En Palomo, Antoni; Piqué, Raquel; y Terradas, Xavier (eds.), *Experimentación en arqueología. Estudio y difusión del pasado*. Girona, Museu d'Arqueologia de Catalunya, 2013, 467-475.
- Pastor Eixarch, José Manuel, "Las trompas de guerra celtibéricas", *Celtiberia*, 73 (1987), 7-19.
- Sopeña Genzor, Gabriel, *Ética y ritual: aproximación al estudio de la religiosidad de los pueblos celtibéricos*. Zaragoza, Universidad de Zaragoza, 1995.
- Taracena Aguirre, Blas, *La cerámica ibérica de Numancia*, Madrid, Samarán y Cía., 1924.
- Taracena Aguirre, Blas, *Excavaciones en diversos lugares de la provincia de Soria*, Madrid, Memorias de la Junta Superior de Excavaciones y Antigüedades 75, 1926.
- Taracena Aguirre, Blas, *Excavaciones en las provincias de Soria y Logroño: Memoria de las excavaciones practicadas en 1925-26*. Madrid, Memorias de la Junta Superior de Excavaciones y Antigüedades 86, 1927.
- Taracena Aguirre, Blas, *Memoria de las excavaciones en las provincias de Soria y Logroño practicadas en 1928*. Madrid, Memorias de la Junta Superior de Excavaciones y Antigüedades 86, 1929.
- Wattenberg Sanpere, Federico, *Las cerámicas indígenas de Numancia*, Madrid, CSIC y Diputación Provincial de Valladolid, Bibliotheca Praehistorica Hispana IV, 1963.

Recibido: 23.04.2018

Aceptado: 24.04.2018