

## ACÚSTICA DE RECINTOS PREHISTÓRICOS: ESTUDIO ARQUEOACÚSTICO DE PALOMAS I

Lidia Álvarez-Morales<sup>1,2\*</sup>; Neemias Santos da Rosa<sup>1,2</sup>; Daniel Benítez-Aragón<sup>1</sup>; María Lazarich<sup>3</sup>; Margarita Díaz-Andreu<sup>1,2,4\*</sup>

<sup>1</sup> Departament de Història i Arqueologia, Universitat de Barcelona (UB), 08001 Barcelona, España

<sup>2</sup> Institut d'Arqueologia, Universitat de Barcelona (UB), 08001 Barcelona, España

<sup>3</sup> Departamento de Historia, Geografía y Filosofía, Universidad de Cádiz (UCA), 11001 Cádiz, España

<sup>4</sup> Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats (ICREA), Barcelona, España

### RESUMEN

Tradicionalmente, los yacimientos con arte rupestre se estudiaban fundamentalmente a través de la materialidad de los restos arqueológicos. Sin embargo, en los últimos años, la comunidad científica ha tomado conciencia de la importancia de sus aspectos intangibles. En este contexto, el proyecto ERC Artsoundscapes –financiado por el European Research Council (H2020 programme, Grant Number 787842)– profundiza en la percepción sonora en los yacimientos de arte rupestre, investigando la relación entre la presencia de arte rupestre y las características acústicas de los abrigos y cuevas. Este artículo presenta el estudio arqueoacústico realizado en Palomas I, una cueva situada en Cádiz (España), usando un enfoque experimental basado en el análisis de un conjunto representativo de respuestas de impulso registradas *in-situ*. Se evalúa el desempeño de la cueva como lugar de encuentro prehistórico usando una selección de descriptores acústicos, relacionando la presencia de arte rupestre y sus características acústicas. Además, se utiliza este caso de estudio para comentar tanto la aplicabilidad como las limitaciones de los procedimientos estandarizados para la acústica de salas cuando se estudian este tipo de recintos prehistóricos.

### ABSTRACT

Traditionally, rock art sites were essentially studied through the materiality of the archaeological remains. Nevertheless, in the last few years, scientific community gained consciousness about the importance of their intangible aspects. In this context, the ERC Artsoundscapes project –funded by the European Research Council (H2020 programme, Grant Number 787842)– delves into the sonic perception at rock art sites, investigating the relationship

between the presence of rock art and the acoustic features of the sites where it is located. This paper presents the archaeoacoustic study conducted in Palomas I, a cave situated in Cádiz (Spain). The study employs an experimental approach built upon a representative set of room impulse responses gathered on site. A range of acoustic descriptors is employed to assess how well the cave may have functioned as a meeting place in prehistory, drawing connections between the existence of rock art and its acoustic characteristics. Furthermore, this case study is used to comment on the applicability and constraints of the standardised procedures for room acoustics when dealing with this type of prehistorical sites.

**Palabras Clave**— Arqueoacústica, patrimonio sonoro intangible, arte rupestre.

### 1. INTRODUCCIÓN

En arqueología, la conservación y el estudio del arte rupestre se ha centrado tradicionalmente en los aspectos materiales de los sitios, y de las propias pinturas o grabados producidos en estos lugares [1]. Sin embargo, en las últimas décadas se ha empezado a dar cada vez más importancia a sus aspectos intangibles, evolucionando esta perspectiva tradicional hacia un enfoque multisensorial, con el objetivo de aportar una nueva dimensión a la interpretación y la conservación del arte rupestre [2]. En particular, la consideración de la componente sonora de los sitios arqueológicos ha dado lugar a la arqueoacústica [3], disciplina estrechamente ligada a los métodos científicos del campo de la ingeniería acústica.

La metodología de investigación empleada en el estudio arqueoacústico de sitios de arte rupestre ha evolucionado considerablemente desde los pioneros trabajos de Glory [4] y

\* Autores de contacto: [lidiaalvarez@ub.edu](mailto:lidiaalvarez@ub.edu); [m.diaz-andreu@ub.edu](mailto:m.diaz-andreu@ub.edu)

**Copyright:** ©2023 Lidia Álvarez-Morales et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 Unported License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Reznikoff [5], que utilizaron una metodología observacional directa. En 1990, Dauvois y Boutillon introdujeron un enfoque más cuantitativo, basado en el análisis de respuestas impulsivas (RI) registradas *in situ* [6]. Desde entonces, los procedimientos experimentales utilizados tanto para registrar como para analizar las RI han ido creciendo en rigurosidad y sofisticación, hasta llegar a la incorporación de tecnología ambisonics [7-9]. En este contexto surgió el proyecto Artsoundscapes, que explora la percepción sonora y acústica en los yacimientos de arte rupestre utilizando una metodología basada en el registro de RI espaciales. Dichas RI no solo sirven como medio de recuperación y conservación el patrimonio acústico de los sitios estudiados, sino también para establecer la posible relación entre las pinturas o grabados y las características acústicas de los sitios donde se localizan.

En este trabajo se describe el estudio arqueoacústico realizado en Palomas I como parte del proyecto Artsoundscapes. Palomas I es la cueva principal del Conjunto de Cuevas de las Palomas, ubicado en la Sierra del Niño (Tarifa). La relevancia de este caso de estudio radica en que se trata de un conjunto considerado lugar de paso durante un amplio periodo de tiempo, ya que se han encontrado pinturas provenientes desde el Paleolítico Superior al Calcolítico.

## 2. DESCRIPCIÓN ARQUEOLÓGICA DE PALOMAS I

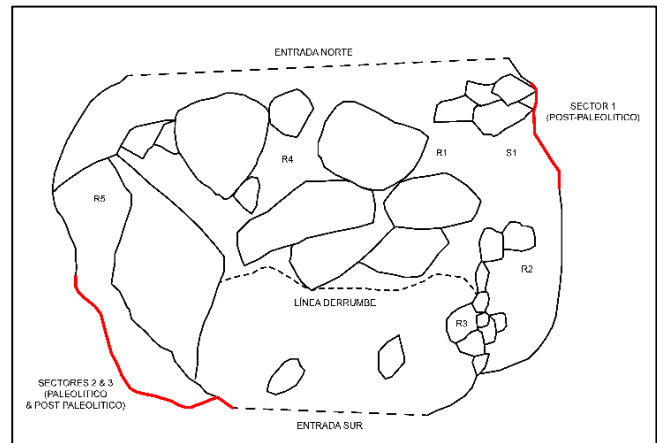
Palomas I (Figuras 1-3) es la cueva principal de un conjunto de arte rupestre ubicado en la Sierra del Niño, en Facinas (Tarifa, Cádiz, España). El Conjunto de Cuevas de las Palomas fue descubierto a principios del siglo XX por Werner, siendo luego visitado por Breuil y Burkitt en 1916, que lo documentan y publican en su trabajo de 1929 sobre el arte rupestre de la provincia de Cádiz [10]. El conjunto fue posteriormente estudiado por Topper y Topper [11], y también por Mas [12], pero el análisis más completo hasta el momento forma parte de la tesis doctoral de Solís (2015) [13]. Recientemente, se han descubierto pinturas paleolíticas previamente desconocidas en una de las cuevas del conjunto, concretamente en Palomas IV [14].

Se han registrado 138 representaciones en Palomas I, incluyendo restos, signos, zoomorfos, cuadrúpedos y antropomorfos. Las pinturas se ubican en tres sectores. El sector 1 (que incluye el panel con motivos post-paleolíticos, de estilo esquemático y Laguna de la Janda mostrado en la Figura 3) ocupa la pared oriental de la cavidad (131 motivos). En el muro opuesto se sitúan los sectores 2 y 3, con el sector 2 en el lado sur (2 motivos) y el sector 3 en la parte norte (5 motivos). Estos últimos incluyen las pinturas paleolíticas.

Se trata de una cavidad de 13,5 m de largo, 3,7 m de alto y 15 m de profundidad, con orientación suroeste que atraviesa por completo el macizo rocoso de la cresta arenisca de "Los Barracones", contando con dos entradas en lados opuestos, y rocas de gran tamaño en la parte central. Las paredes y el techo están visiblemente afectados por la erosión eólica.



**Figura 1.** Vista frontal desde la entrada sur de Palomas I. A la izquierda se sitúa el panel paleolítico, y en la parte derecha superior el panel post-paleolítico. (Fotografía de N. Santos da Rosa, 2021. ©Proyecto Artsoundscapes).



**Figura 2.** Croquis de Palomas I, incluyendo las posiciones aproximadas de la fuente de sonido (S) y el receptor (R) consideradas. (Autor: N. Santos da Rosa, 2021. © Proyecto Artsoundscapes).



**Figura 3.** Panel con motivos esquemáticos y Laguna de la Janda (Fotografía de N. Santos da Rosa, 2021. © Proyecto Artsoundscapes).

### 3. METODOLOGÍA

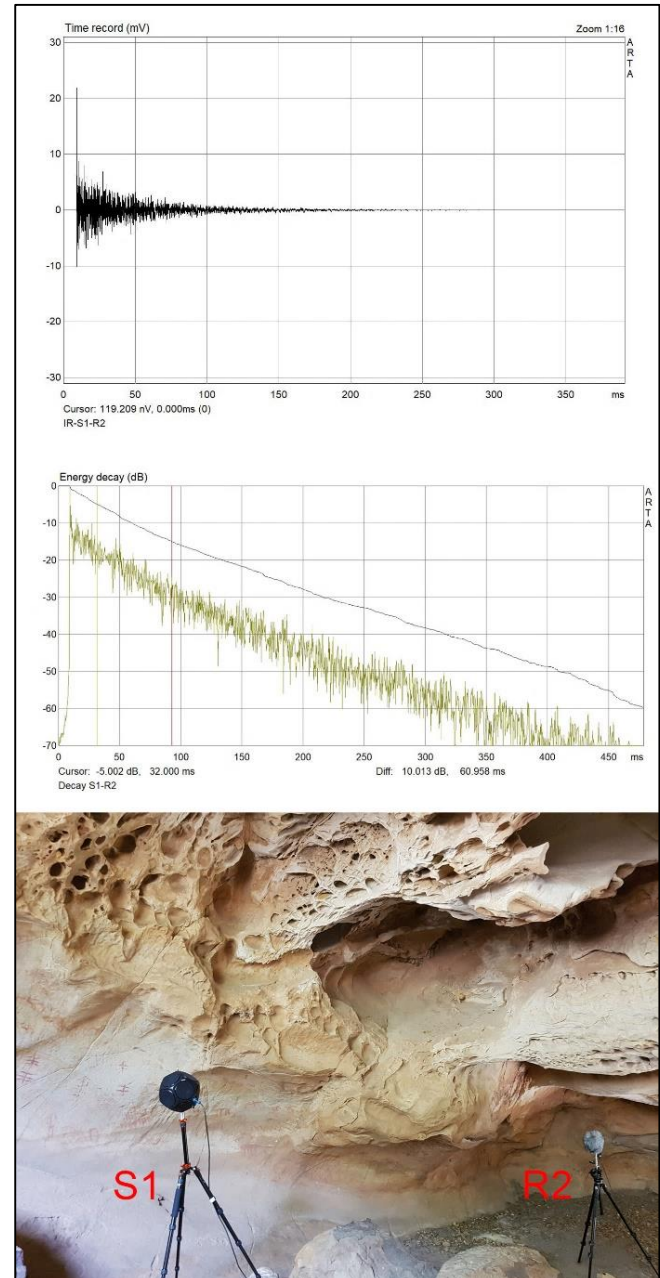
En este trabajo, la cueva de Palomas I es considerada como posible lugar de celebración o reunión, en el que podrían haberse realizado actividades de carácter ritual. Por ello, la metodología empleada para el registro y el análisis de las respuestas al impulso está basada en las recomendaciones incluidas en la ISO 3382-1 [15]. Sin embargo, al tratarse de un sitio natural y abierto, en el que no se dan condiciones de campo difuso, la aplicabilidad de dicho estándar no es directa.

En los últimos años diversos autores han reflexionado sobre las limitaciones de la ISO 3382-1 cuando se trabaja con sitios arqueológicos, atendiendo tanto a las adaptaciones necesarias del protocolo de medida para considerar las morfologías complejas e irregulares típicas de estos espacios [16], como a la cautela necesaria a la hora de interpretar los resultados de los parámetros de reverberación derivados de las curvas de caída no totalmente lineales, típicas de la distribución de absorción no uniforme inevitable en sitios abiertos [17-18]. A pesar de las mencionadas limitaciones, y ante la falta de una regulación específica, el uso de una metodología basada en la ISO3382-1 con las pertinentes adaptaciones, garantiza repetibilidad y fiabilidad a la hora de captar las respuestas impulsivas y estudiar el comportamiento acústico de los sitios de arte rupestre [19].

La sesión de medidas en Palomas I tuvo lugar el 11 de junio de 2021, mientras la cueva estaba desocupada. El plan de medición se diseñó tomando en consideración las hipótesis de uso del espacio y la morfología del sitio; es decir, las dimensiones de la cueva y la extrema irregularidad de su suelo. La fuente de sonido se posicionó frente a la zona central del panel esquemático (Figura 4). Debido a las limitaciones espaciales mencionadas, no pudo considerarse una posición de fuente adicional. Se distribuyeron un total de 5 posiciones de micrófono para cubrir el área disponible para la audiencia (Figura 2). Se eligió esta configuración espacial, al considerar el sitio como un posible lugar de reunión durante la prehistoria, en el que las prácticas de actividades sociales y rituales habrían albergado mayor número de personas y habrían sido más frecuentes que durante los rituales y ceremonias asociados a los grupos de cazadores-recolectores. Además, se trabajó con la hipótesis de orador/audiencia de pie, por lo que la altura tanto de la fuente como de los receptores se fijó en 1,4 - 1,5 m.

Las RI monoaurales se registraron sincrónicamente con la herramienta de software EASERA 1.2 [20], utilizando un micrófono omnidireccional (micW n201) como receptor, conectado con una tarjeta de sonido Zoom F4. Las RI espaciales se obtuvieron de forma asíncrona, de modo que la señal de excitación capturada por la matriz de micrófonos de 19 cápsulas Zylia ZM-1 se grabó directamente con el DAW Plogue Bidule 0.9762. Dichas grabaciones se postprocesaron en Matlab R2022a con el script SIMO [21] para obtener las RI de primer y tercer orden ambisonics. Al trabajar en un espacio abierto, se utilizaron protectores de viento con ambos

micrófonos para evitar posibles distorsiones. En ambos casos, se usó una fuente sonora dodecaédrica ultraligera IAG DD4, junto con un amplificador de potencia IAG AP4GB pre-ecualizado, para emitir la señal de excitación, un barrido exponencial cubriendo un rango frecuencial de 50 Hz a 20 kHz.



**Figura 4.** Respuesta al impulso (RI) y curva de caída temprana capturada en Palomas I con la fuente sonora frente al panel esquemático (S1) y receptor Zylia ZM-1 en R2. Fotografía realizada durante la sesión de medición (Fotografía de L. Alvarez-Morales, 2021. ©Proyecto Artsoundscapes).

Durante la sesión de medición se monitorizaron las condiciones ambientales en la cueva, manteniéndose una temperatura media aproximada de 25,8 °C y una velocidad del viento de 0,5 m/s, con ráfagas de hasta 1,2 m/s. El nivel de ruido ambiente se registró con el ARTA SPL meter [22], obteniendo un nivel sonoro continuo equivalente ( $L_{Aeq}$ ) de 43,77 dBA, debido principalmente a la interacción del viento con la vegetación fuera de la cueva y la presencia de cigarras.

Esta metodología se ha utilizado con éxito en otros sitios de arte rupestre de la zona [19,23] y la Península Ibérica [24].

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las RI omnidireccionales registradas con el micW n201 y las RI binaurales (decodificadas con el complemento Binaural Decoder de IEM v. 0.6.3 [25] para Reaper. a partir de las RI de 1<sup>er</sup> orden ambisonics registradas con el micrófono Zylia ZM-1) se han analizado con las herramientas software EASERA 1.2 y ARTA 1.9.4.

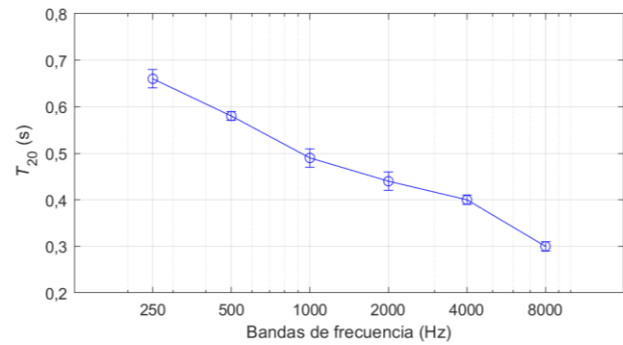
Todas las RI omnidireccionales muestran una estructura similar: cierta densidad de reflexiones tempranas de considerable amplitud tras la llegada del sonido directo, y escasez de reflexiones tardías que puedan causar valores elevados de reverberación o ecos. La Figura 4 muestra un ejemplo.

El tiempo de reverberación de la cueva a frecuencias medias es de unos 0,55 s (Tabla 1), lo que se encuentra dentro de los valores recomendados en acústica de salas para una correcta inteligibilidad del discurso hablado [26]. A pesar de las aperturas del espacio y la cercanía entre emisor y receptor en alguna de las zonas de audiencia, las curvas de caída temprana (EDC) derivadas de las IR cumplen los criterios de linealidad ( $\zeta \leq 10$  ‰) establecidos en la ISO 3382-2 [27] para una correcta estimación del  $T_{20}$ , salvo en la banda de 125 Hz y algunas excepciones en la banda de 250 Hz.

**Tabla 1.** Resultados de los parámetros acústicos, promediados espectralmente según ISO 3382-1, obtenidos en cada pareja fuente-receptor caracterizada en Palomas I.

| S-R IDs                  | S1-R1 | S1-R2 | S1-R3 | S1-R4 | S1-R5 |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| S-R dist. [m]            | 2,56  | 3,45  | 4,87  | 5,27  | 10,6  |
| $T_{20m}$ [s]            | 0,49  | 0,54  | 0,54  | 0,54  | 0,58  |
| $\zeta$ [‰]              | 5,99  | 7,98  | 3,00  | 5,99  | 6,99  |
| $G_m$ [dB]*              | 19,20 | 17,80 | 15,95 | 17,15 | 13,60 |
| $C_{80m}$ [dB]           | 10,70 | 11,05 | 9,85  | 11,25 | 6,25  |
| $D_m$ [-]                | 0,82  | 0,83  | 0,76  | 0,83  | 0,64  |
| $T_{sm}$ [ms]            | 29,34 | 32,42 | 35,56 | 32,25 | 49,01 |
| 1-IACC <sub>Em</sub> [-] | 0,73  | 0,72  | 0,62  | 0,58  | 0,74  |
| 1-IACC <sub>Lm</sub> [-] | 0,86  | 0,81  | 0,81  | 0,59  | 0,84  |

\*Método de calibración in situ [28]

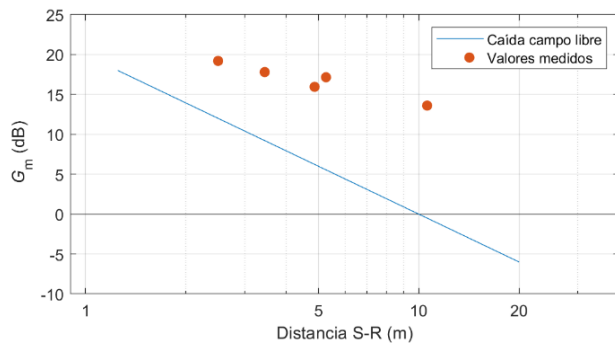


**Figura 5.** Promedio espacial del tiempo de reverberación medido en Palomas I. Las barras de error representan la dispersión en términos del error estándar de la media.

La Figura 5 muestra el comportamiento espectral de los valores del  $T_{20}$  promediados espacialmente (se omiten los resultados de la banda de 125 Hz debido a que su valor se considera impreciso). Puede apreciarse un cierto incremento a bajas frecuencias, lo que sugiere que el espacio añade calidez al sonido [29]. Este realce habría sido particularmente evidente en situaciones en las cuales alguna ceremonia hubiese involucrado cánticos guturales o instrumentos de percusión con significativas componentes de baja frecuencia.

Incluso en las posiciones más alejadas de la fuente, las fuertes reflexiones tempranas producidas por las superficies rocosas que se encuentran en las proximidades de las diferentes zonas de audiencia contribuyen al aumento del nivel efectivo del sonido emitido, mejorando si cabe la claridad con la que el sonido es percibido en el espacio ( $C_{80m} > 6,25$ ,  $D_m \geq 0,6$  y  $T_{sm} \leq 50$  ms) [30]. Es importante matizar, que, a pesar de que los elevados valores de  $C_{80m}$  obtenidos sugieren que el espacio no enturbia la apreciación de las diferentes notas que componen una pieza rítmica, no se puede afirmar que esta característica por si misma pudiese haber motivado o favorecido la reproducción de piezas musicales durante de las actividades sociales o rituales acontecidas en la cueva.

Por otro lado, el espacio parece amplificar considerablemente el nivel sonoro subjetivo, dando lugar a valores de fuerza acústica,  $G_m$ , muy por encima de los esperados en campo libre para esa misma fuente sonora (Figura 6). Esta capacidad de “amplificación natural” de la cavidad también incrementa la percepción de otras cualidades acústicas, como la intimidad y la impresión espacial [31-32]. Precisamente, los resultados de los coeficientes de correlación cruzada interaural muestran que los oyentes experimentan la sensación de estar envueltos por sonido (1-IACC<sub>Lm</sub>  $\geq 0,81$ ) en las posiciones más alejadas de las aperturas, percibiendo además la fuente sonora más amplia (1-IACC<sub>Em</sub>  $\geq 0,72$ ).



**Figura 6.** Valor promedio espectral de la fuerza acústica obtenida a partir de las respuestas al impulso registradas en Palomas I.

## 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta el estudio arqueoacústico de Palomas I. Se ha registrado *in situ* un set representativo de respuestas al impulso con el objetivo de recuperar y preservar el patrimonio sonoro inmaterial de este sitio de arte rupestre, y también de analizar la acústica del espacio y su posible influencia en las prácticas que las sociedades prehistóricas llevaron a cabo en este espacio.

Los resultados sugieren que, en caso de que el sonido hubiese formado parte de las actividades sociales y rituales que probablemente tuvieron lugar en Palomas I durante el Neolítico y Calcolítico, momento en el que se realizaron las pinturas post-paleolíticas, la acústica de la cueva, definida por un bajo tiempo de reverberación y un importante número de reflexiones tempranas, podría haber potenciado la sensación de intimidad y envolvimiento en el espacio, añadiendo además cierta calidez y amplificación subjetiva al sonido. Asimismo, tanto el discurso hablado como cantado hubiera sido claramente percibido en todas las posibles zonas en las que hubieran podido concentrarse los oyentes.

Las respuestas al impulso espaciales registradas en Palomas I se utilizarán para generar auralizaciones, que servirán no solo para difundir el patrimonio sonoro de la cueva, si no para continuar analizando la percepción acústica dentro de la misma, esta vez utilizando test psicoacústicos y neuroacústicos (ver, por ejemplo [33]).

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación forma parte del proyecto Artsoundscapes Advanced ERC (Grant Agreement No. 787842, Investigadora principal: ICREA Research Professor Margarita Díaz-Andreu) financiado por el European Research Council (ERC) bajo el European Union's Horizon 2020 research and innovation programme. El trabajo de campo se realizó con el pertinente permiso de la Consejería de Cultura y Patrimonio Histórico de la Junta de Andalucía (202199900646587—05/04/2021). Agradecemos

encarecidamente la valiosa ayuda recibida por parte de Laura Fernández Macías y nuestros colegas del PAIDI HUM-812 de la Universidad de Cádiz, con especial mención a Francisco Torres Abril; durante las diferentes fases del trabajo de campo.

## DECLARACIÓN DE DISPONIBILIDAD DE DATOS

La versión 01 del data set “ERC Artsoundscapes project—Acoustic measurements at Palomas I” puede descargarse en <https://doi.org/10.34810/data855>

Las señales están disponibles bajo Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> (enlace consultado el 08 de septiembre de 2023).

## REFERENCIAS

- [1] G. Laue y J.C. Dean, “Rock Art Conservation with a Focus on Southern Africa,” *Oxford Research Encyclopedia of Anthropology*, 2022.
- [2] S. Ouzman “Seeing is deceiving: rock art and the non-visual” *World archaeology*, vol. 33, pp. 237-256, 2001
- [3] C. Scarre y G. Lawson (eds.), *Archaeoacoustics*, McDonald Institute for Archaeological Research, Cambridge, 2006
- [4] A. Glory, “La Grotte du Roucadour (Lot)”, *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 1964.
- [5] I. Reznikoff, “Sur la dimension sonore des grottes à peintures du Paléolithique”, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, vol 304 pp. 53-56, 307-310, 1987.
- [6] M. Dauvois y X. Boutillon, “Etudes acoustiques au Réseau Clastres: salle des peintures et lithophones naturels. Préhistoire, art et sociétés”, *Bulletin de la Société Préhistorique de l'Ariège-Pyrénées*, vol 45, pp. 175-186, 1990.
- [7] T. Mattioli et al., “Echoing landscapes: echolocation and the placement of rock art in the Central Mediterranean”, *Journal of Archaeological Science*, vol. 83, pp. 12-25, 2017.
- [8] B. Fazenda et al., “Cave acoustics in prehistory: Exploring the association of Palaeolithic visual motifs and acoustic response”, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 142, n.º 3, pp. 1332–1349, 2017.
- [9] R. Rainio, A. Lahelma, T. Äikäs, K. Lassfolk y J. Okkonen, “Acoustic measurements and Digital Image Processing suggest a link between sound rituals and sacred sites in northern Finland”, *Journal of Archaeological Method and Theory*, vol. 25, pp. 453-474, 2018.
- [10] H. Breuil y M.C. Burkitt, “Rock Paintings of Southern Andalusia. A Description of a Neolithic and Copper Age Art Group,” *Clarendon Press*, pp. 51-53, lámina XIX, 1929.
- [11] U. Topper y U. Topper, “Arte rupestre prehistórico en la provincia de Cádiz”, *Diputación Provincial de Cádiz*, 1988.
- [12] M. Mas, “Documentación e investigación de las manifestaciones artísticas en las cuevas de Palomas, abrigos de Bacinete y conjunto rupestre del Tajo de las Figuras (Cádiz)”, *Anuario Arqueológico de Andalucía II*, 1991.
- [13] M. Solís Delgado, “La pintura rupestre en el entorno de la Laguna de la Janda: Sierra del Niño (Cádiz). Cambio cultural, arte y paisaje”, *Universidad Nacional de Educación a Distancia (España). Facultad de Geografía e Historia. Departamento de Prehistoria y Arqueología*, pp. 220-275, 2015.
- [14] D. Fernández-Sánchez, H. Collado Giraldo, E. Vijande Vila, S. Domínguez-Bella, A. Luque Rojas, J. J. Cantillo Duarte, H. A. Mira, S. Escalona, J. Ramos-Muñoz, “A contribution to the debate about prehistoric rock art in Southern Europe: New Palaeolithic motifs in Cueva de las Palomas IV, Facinas (Tarifa, Cádiz, Spain)”, *Journal of Archaeological Science: Reports*, vol. 38, 2021.

- [15] ISO 3382-1, “Acoustics-Measurement of Room Acoustic Parameters—Part 1: Performance Spaces”, *International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland*, 2009.
- [16] R. Till, “Sound Archaeology: A Study of the Acoustics of Three World Heritage Sites, Spanish Prehistoric Painted Caves, Stonehenge, and Paphos Theatre”, *Acoustics*, vol. 1, n.º 3, pp. 661–692, 2019.
- [17] D. Paini, A.C. Gade, J.H. Rindel, “Is Reverberation Time Adequate for Testing the Acoustical Quality of Unroofed Auditoriums?”, *Institute of Acoustics: Copenhagen, Denmark*, vol. 28, pp. 66–73, 2011.
- [18] A. Astolfi, E. Bo, F. Aletta y L. Shtrepi, “Measurements of Acoustical Parameters in the Ancient Open-Air Theatre of Tyndaris (Sicily, Italy)”, *Applied Sciences.*, vol. 10, n.º 16, pp. 5680, 2020.
- [19] L. Alvarez-Morales, N. Santos da Rosa, D. Benítez-Aragón, L. Fernández Macías, M. Lazarich y M. Díaz-Andreu, “The Bacinete Main Shelter: A Prehistoric Theatre?”, *Acoustics*, vol. 5, n.º 1, pp. 299–319, 2023.
- [20] Electronic and Acoustic System Evaluation and Response Analysis (EASERA), *AFMG Technologies GmbH, Germany* [www.afmg.eu](http://www.afmg.eu)
- [21] D. Benítez-Aragón, A. Farina, L. Álvarez-Morales y M. Díaz-Andreu, “ERC Artsoundscapes project – SIMO (Single Input Multiple Output) impulse responses processing”, *CORA. Repositori de Dades de Recerca*, V1, <https://doi.org/10.34810/data629>, 2023.
- [22] I. Mateljan, “Arta software User manual. Program for Impulse Response Measurement and Real Time Analysis of Spectrum and Frequency Response. Version 1.9.3”, *Artlabs, Croatia*, 2019.
- [23] L. Alvarez-Morales, N. Santos da Rosa, D. Benítez-Aragón, M. Lazarich y M. Díaz-Andreu, “Recovering the intangible acoustic heritage of rock art sites: El Tajo de las Figuras as a case study”, in *Proc. of the International Conference on Immersive and 3D Audio (I3DA)*, (Bologna, Italia), 2023 (En proceso de publicación)
- [24] N. Santos da Rosa, L. Alvarez-Morales, X. M. Briz, L. F. Macías y M. Díaz-Andreu, “The Acoustics of Aggregation Sites: Listening to the Rock Art Landscape of Cuevas de la Araña (Spain)”, *Journal of Field Archaeology*, vol. 48, pp. 130-143, 2023.
- [25] <https://plugins.iem.at/>, accessed on 15 June 2023.
- [26] J. S. Bradley, “Acoustical design of rooms for speech”, *Institute for Research in Construction, National Research Council of Canada*, 2002.
- [27] ISO 3382-2, “Acoustics-Measurement of Room Acoustic Parameters—Part 2: Reverberation Time in Ordinary Rooms”, *International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland*, 2008
- [28] B. F. G. Katz, “In-situ calibration of the sound strength parameter G,” *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 138, no. 2, pp. EL167– EL173, 2015
- [29] L. Beranek, “Concert and Opera Halls: How They Sound”, *Acoustical Society of America*, 1996.
- [30] J. S. Bradley, H. Sato y M. Picard, “On the importance of early reflections for speech in rooms”, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 113(6), pp. 3233-3244, 2003.
- [31] T. Hidaka, L. Beranek y T. Okano, “Interaural cross-correlation, lateral fraction, and low- and high-frequency sound levels as measures of acoustical quality in concert halls”, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 98, n.º 2, pp. 988–1007, 1995.
- [32] T. Okano, L. Beranek y T. Hidaka, “Relations among interaural cross-correlation coefficient (IACCE), lateral fraction (LFE), and apparent source width (ASW) in concert halls”, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 104, n.º 1, p. 255–265, 1998.
- [33] S. López-Mochales, R. Aparicio-Terrés, M. Díaz-Andreu, y C. Escera, “Acoustic perception and emotion evocation by rock art soundscapes of Altai (Russia)”, *Frontiers in Psychology*, vol. 14, art. 1188567, 2023.