



SIMULACIÓN ACÚSTICA DE LA CUEVA DEL PARPALLÓ MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

PACS: 43.55.Ka

Picó, Rubén¹; Hortelano Piqueras, Laura²; Roig, Bernardino¹; Redondo, Javier¹

¹ Escuela Politécnica Superior de Gandía. Universidad Politécnica de Valencia
Carretera Nazaret-Oliva s/n. Grao de Gandía. Valencia. Spain

Tel: 962 849 300

Fax: 962 849 313

E-Mail: rpico@fis.upv.es

² Museu Arqueològic de Gandia

Calle Hospital, 18

46700 Gandía. Valencia. España

Tel 96 295 95 40

E-mail: maga@gandia.org

ABSTRACT

Archeoacoustics is concerned to the role of sound on human behaviour from old times to the development of the detection and recording mechanical systems of the 19th century [1,2]: from caves and sacred prehistoric places, megalithic tombs to romanic churches. In the present work, a study of the acoustic features of the cave of Parpalló [3,4] is achieved by means of a numerical simulation. The main aim is to find some elements that explain the huge presence of human groups in the deposit from its special acoustic features.

RESUMEN

La Arqueoacústica centra sus estudios en el papel de los sonidos en el comportamiento humano, desde los tiempos más antiguos hasta el desarrollo de los sistemas de detección y grabación mecánicos del siglo XIX [1,2]. Las cuevas y espacios sagrados prehistóricos, las tumbas megalíticas, hasta las iglesias románicas presentan cualidades sonoras especiales para las que fueron específicamente diseñadas y usadas. En el presente trabajo, se realiza un estudio preliminar de las propiedades acústicas de la cueva del Parpalló [3,4] mediante la simulación numérica. El objetivo principal consiste en buscar elementos de análisis que permitan explicar la numerosa presencia de grupos humanos en el yacimiento a lo largo de la prehistoria a partir de sus peculiares características acústicas.

INTRODUCCIÓN

La Cova del Parpalló, situada en la ladera del Montdúber (Valencia), es uno de los yacimientos paleolíticos más importantes no sólo de España, sino también a nivel internacional. Presenta una de las colecciones de arte mueble paleolítico más espectaculares encontradas hasta el momento.

La colección de arte del Parpalló consta de 5034 plaquetas de arenisca, recogidas en los alrededores de la cueva, que suponen un total de 6245 caras decoradas; además, se recuperaron cerca de un centenar de huesos decorados. La cantidad de plaquetas encontradas en Parpalló es excepcional (en Europa sólo se documenta un yacimiento con un gran número de plaquetas, La Marche, en Francia, que proporcionó "sólo" 1512 piezas). La Cova del Parpalló presenta niveles de ocupación desde los inicios del Paleolítico Superior, la llegada de los primeros homínidos anatómicamente modernos, hasta el Neolítico. Y en todos los niveles

aparecen una buena cantidad de plaquetas decoradas; esta amplitud cronológica le da también a Parpalló una importancia especial. No existe ningún otro ejemplo de colección artística con una secuencia tan larga, ni que combine el uso de distintas técnicas pictóricas, como aquí sucede. Estos tres elementos, combinados en un único yacimiento, dan lugar a muchas preguntas.

¿Fue la Cova de Parpalló algo más que un hábitat? ¿Qué rasgos de la cueva llevaron a los grupos humanos del pasado a escogerla? La excavación de la cueva se realizó en los años 30, con métodos de la época, lo que tiene ciertas limitaciones, pero es seguro, por la cantidad de restos recogidos, la mención en los diarios de excavación de la abundancia de hogares, la localización de áreas de basurero bastante colmatadas, que era un lugar de habitación importante, pero tenía, sin duda, un papel singular dentro del territorio. ¿Era una cueva santuario? ¿Un centro de reunión periódica para grupos humanos que vivían aislados el resto del tiempo? ¿Un centro de intercambio de productos, informaciones, gentes...? ¿Una cueva para ritos de iniciación? Parpalló pudo haber sido todas esas cosas. Pero, ¿qué elementos hay en Parpalló que hicieron a los grupos humanos la escogieran como lugar de celebraciones especial?

Son varios los elementos que hacen de Parpalló un enclave privilegiado. La cueva se sitúa en una zona de buena visibilidad sobre la Droba y los barrancos que unen la costa con las tierras del interior; en días claros incluso se puede ver el mar. Hay una fuente de agua en las proximidades de la entrada de la cueva, elemento de vital importancia para la supervivencia. La visión de la entrada a la cueva es espectacular: casi 15 metros de altura y apenas 2 metros de ancho: parece una grieta que corta la roca y abre paso a las profundidades. La entrada estrecha da a un amplio vestíbulo, casi circular, con una espectacular colada estalagmítica; este vestíbulo queda perfectamente resguardado por la estrechez de la abertura y por el desnivel respecto del suelo exterior (unos 5 m. por debajo, al menos al principio. Luego se fue colmatando y quedó a nivel), lo que garantiza la seguridad de los ocupantes. En la pared izquierda de la cueva, junto a la colada estalagmítica, se abren dos galerías, a unos 5-6 metros de altura respecto del suelo, estas galerías no fueron ocupadas hasta que el sedimento interior no quedó a la altura del acceso, pero hay constancia de visitas esporádicas en momentos anteriores. Las galerías y el rellano que hace la colada estalagmítica ofrecen la posibilidad de ser usados como estrado; la visibilidad desde el vestíbulo de esta zona es buena. Todos estos elementos, observados ya por otros especialistas, le dan a la cueva un cariz especial. Pero nada se había dicho hasta ahora de la acústica de la cueva, y de si sus capacidades acústicas tuvieron también algo que ver en la elección este lugar para la realización de eventos especiales, del tipo que fueran.

La Arqueoacústica ha demostrado en otras ocasiones que las propiedades acústicas de ciertos recintos determinan la presencia o no de arte prehistórico. Asimismo, se ha comprobado también que hay espacios naturales con megalitos, cuya colocación modifica la acústica de esos espacios.

En este trabajo se presenta una simulación numérica acústica de la Cova del Parpalló. Se analizan las propiedades acústicas del recinto con el objetivo de encontrar elementos de decisivos en la elección de ese lugar como centro de culto, o de intercambio, o de reunión social, entre otros factores ya comentados.

RECONSTRUCCIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LA CUEVA

El estudio numérico del recinto acústico precisa del conocimiento de la geometría de la cueva. La figura 1 muestra la planta de la cueva. Dicha representación ha servido de base para reconstruir la geometría de la cueva en la simulación acústica. Para reconstruir el volumen en tres dimensiones, se ha utilizado además varios planos de distintas secciones transversales. Utilizando de forma complementaria la información contenida en todos los planos, se ha obtenido una representación aproximada de la geometría de la cueva por medio de varias secciones horizontales a diferentes alturas. La figura 2 muestra algunas de las secciones horizontales (en un eje coordenadas X e Y) proporcionadas por este método para cada una de las secciones a varias alturas. La precisión de las secciones en el eje Z es de 1 metro. Con el

objetivo de simplificar la representación, en la figura se han incluido únicamente las secciones a $z=0\text{m}$, 4m , 8m , 12m y 16m .

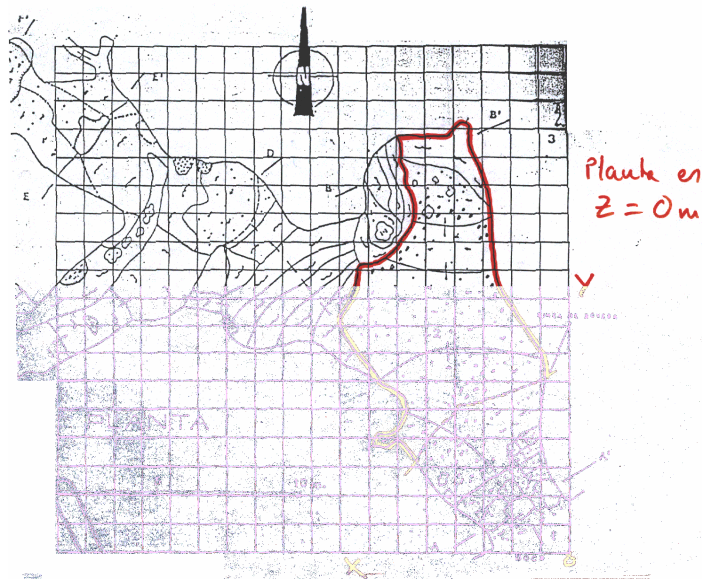


Figura 1: Representación de la planta de la Cova del Parpalló

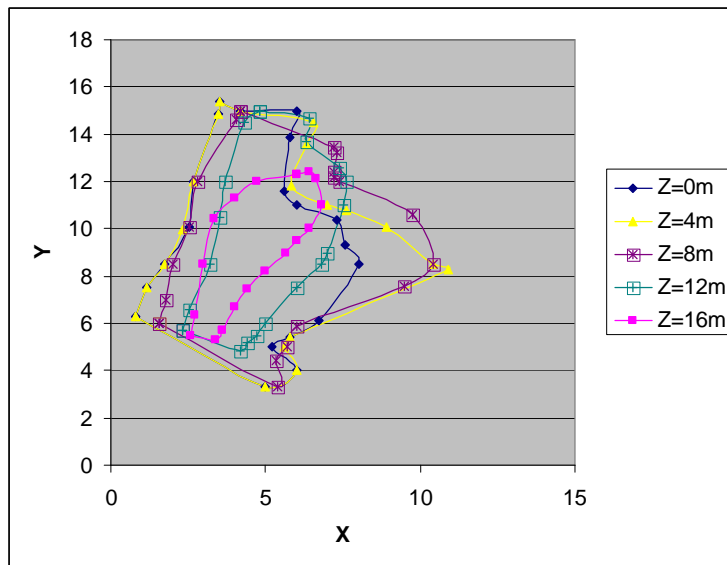


Figura 2: Secciones horizontales a distintas alturas de la cueva

Este método permite representar la geometría del recinto de forma compacta en un formato adecuado para la simulación acústica.

MÉTODO DE SIMULACIÓN

El programa empleado (FEMLAB) se basa en el método de elementos finitos [5]. Este método se utiliza en diferentes campos de la física tales como la elasticidad, la mecánica de fluidos, los campos electromagnéticos o la propagación de ondas sonoras en acústica. En el ámbito de la acústica, usualmente se aplica a la ecuación de Helmholtz en problemas con solución armónica temporal y en medios fluidos. La resolución numérica mediante el método de elementos finitos consta de tres partes:

- **Pre-procesado:** La discretización de las ecuaciones mediante la generación de una malla del dominio. La malla está definida por un conjunto de elementos poliédricos que constituye todo el volumen de integración consta de elementos y nodos que están relacionados entre sí por medio de la conectividad.
- **Procesado:** Consiste en el cálculo numérico de las ecuaciones integrales de Helmholtz para una frecuencia determinada y unas condiciones impuestas al contorno para las variables acústicas.
- **Post-procesado:** Representación gráfica del campo de presión (o cualquier otra magnitud) en la zona de interés para la frecuencia en la que se ha realizado el cálculo.

La malla generada para la simulación (ver figura 3) tiene alrededor de 18000 elementos, que constituyen un sistema de ecuaciones de casi 32000 grados de libertad. Como es bien sabido, el tamaño de los elementos define la frecuencia máxima de validez la simulación. Así, la precisión del cálculo es el resultado del compromiso entre el tamaño del elemento mínimo y el coste computacional de la simulación. En nuestro caso, dado que el volumen de la cueva es bastante grande los elementos también lo son (del orden de 0.5m), lo cual limita nuestro cálculo a 500Hz.

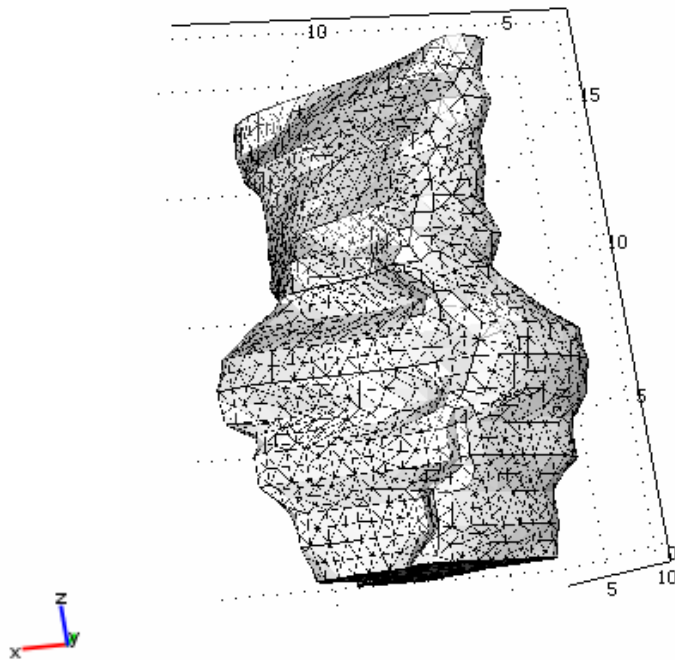


Figura 3: Representación de la malla generada sobre el volumen interno de la cueva (dominio de integración).

La resolución de las ecuaciones discretas precisa de la definición de las condiciones de contorno del problema. La cueva de Parpalló presenta una abertura significativamente grande que, sin duda, determina las específicas cualidades acústicas del recinto. La entrada de la cueva es el único contorno abierto que tiene. Su gran tamaño explica que el campo de presión sonora en el interior no sea excesivamente reverberante y que la inteligibilidad sea significativamente mayor que en otros recintos de este tipo. Posiblemente este hecho es un elemento más que permite explicar el interés que presentaba la cueva para sus habitantes desde el Paleolítico Superior. Desde el punto de vista de la simulación acústica, la entrada de la cueva es una parte del contorno constituida por varios elementos a los que se imponen condiciones de radiación para el cálculo (ver figura 4). El resto de elementos se corresponden con las paredes de la cueva; las condiciones de contorno impuestas son rígidas (impedancia acústica infinita).

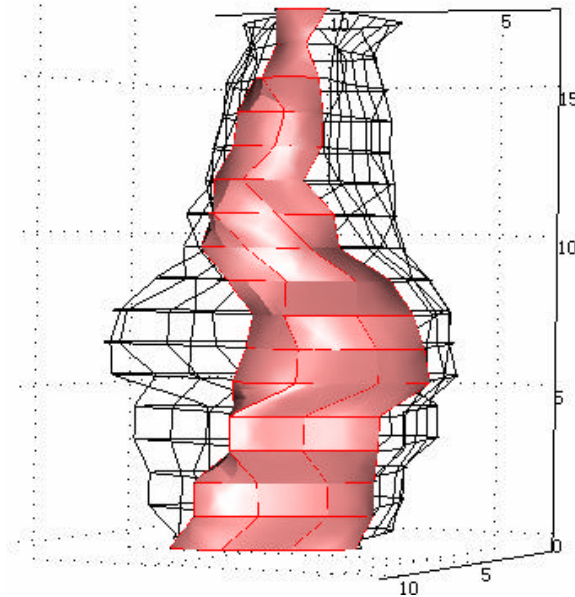


Figura 4: Elementos del contorno que definen la entrada de la cueva.

Con el fin de simular el efecto acústico de una persona hablando en la planta de la cueva, se ha incluido una excitación en el cálculo. La fuente sonora está representada mediante la imposición de una condición de presión sonora de 90 dB al elemento opuesto a la entrada de la cueva tal y como muestra la figura figura 5. A pesar de que dicha excitación no es puntual y no simula la directividad de la voz humana, es suficientemente representativa del efecto sonoro que tiene en todo el recinto la emisión de una persona.

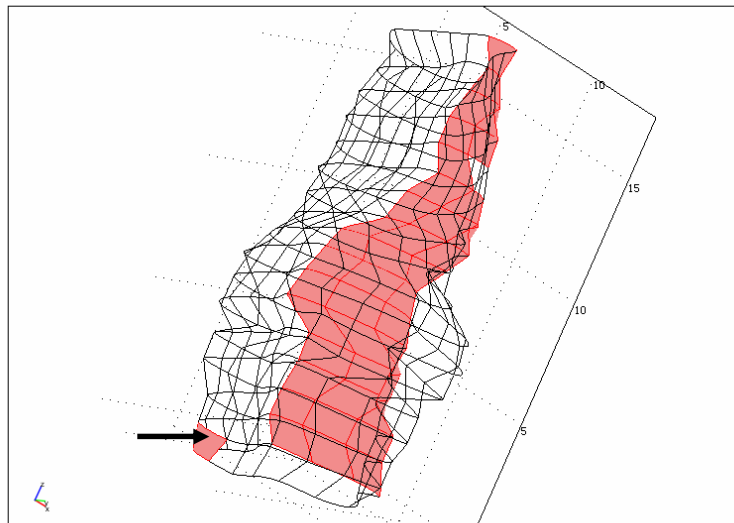


Figura 5: Elemento que constituye la excitación sonora del recinto

Una vez impuestas todas las condiciones de contorno en el dominio, se ha realizado el cálculo numérico en régimen armónico para una frecuencia de 250Hz. La figura 6 muestra el nivel de presión sonora en el interior de la cueva en dB en la línea vertical de coordenadas $x=7.5\text{m}$ e $y=5\text{m}$ en función de la altura z . Cabe destacar dos cosas:

- 1) El recinto presenta un comportamiento resonante importante que se traduce en máximos y mínimos de presión en diferentes puntos del recinto
- 2) Para esta frecuencia se produce una disminución del nivel de presión sonora de unos 10 dB entre la planta de la cueva y la altura máxima.

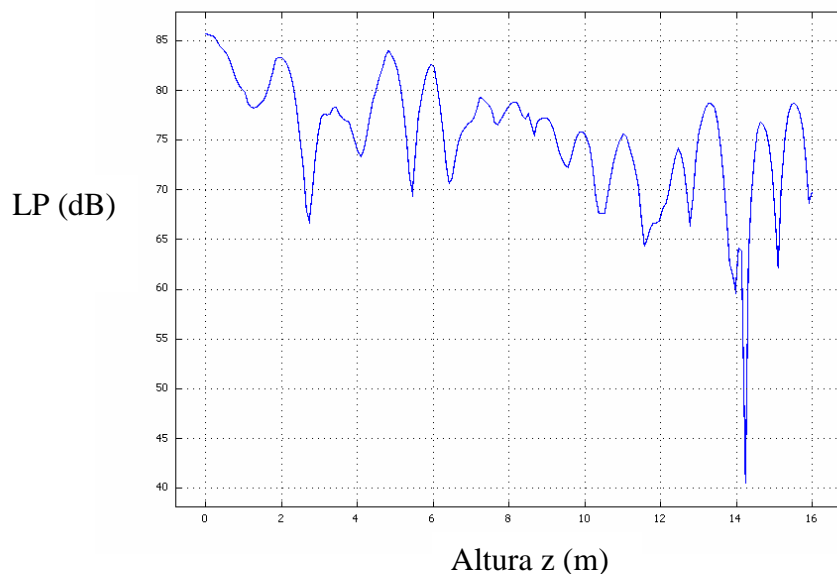


Figura 6: Nivel de presión sonora (dB) en el interior de la cueva en función de la altura

CONCLUSIÓN

La cueva del Parpalló destaca entre los yacimientos paleolíticos de la península ibérica por la cantidad y calidad de piezas encontradas en ella. Sin duda ha sido un enclave privilegiado para sus habitantes durante mucho tiempo. Las cualidades acústicas de la cueva de son especiales: el campo de presión sonora en el interior no es excesivamente reverberante y la inteligibilidad es significativamente mayor que en otros recintos de este tipo. Posiblemente este hecho es un elemento más que explica el interés de la cueva para sus habitantes desde el Paleolítico Superior. La simulación acústica mediante el método de elementos finitos permite investigar las características acústicas de este recinto tan peculiar.

REFERENCIAS

- [1] Dauvois, M./ Boutillon, X. (1990): "Etudes acoustiques au Réseau Clastres: salle des Peintures et lithophones naturels", en Prehistoire Ariégeoise, tom. 45, pp. 175-186, Tarascon-sur-Ariège
- [2] Dauvois, M./ reznikoff, i. (1988): "La dimension sonore des grottes ornées", en Bulletin de la Societe Prehistorique Francaise , 85/8, pp. 239- 246. Paris
- [3] Pericot, L. (1942): La Cueva del Parpalló. CSIC, Madrid
- [4] Aura, E . (1988): La Cova del Parpalló y el Magdaleniense mediterráneo de facies ibérica. Tesis Doctoral, Valencia.
- [5] Picó, R; Roig, B, J. Redondo, Estudio del acoplamiento vibroacústico de una estructura cilíndrica vibrante. Tecniacústica 2005. Terrassa