Revista Atlántica-Mediterránea 28, pp. 323-334
BIBLID [2445-3072 (2026) 28, 1-411]
https://doi.org/10.25267/rev_atl-mediterr_prehist_arqueol_soc.2026.v28.21

DOCUMENTACIÓN Y ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE MATERIAL ARQUEOLÓGICO DEL YACIMIENTO DE CORO TRASITO (TELLA-SIN, HUESCA) A PARTIR DE MODELOS 3D

DOCUMENTATION AND MORPHOMETRIC ANALYSIS OF ARCHAEOLOGICAL MATERIAL FROM THE CORO TRASITO SITE (TELLA-SIN, HUESCA) USING 3D MODELS

Alejandro, MUÑOZ-MUÑOZ[1], Ignacio, CLEMENTE-CONTE[2], Ermengol, GASSIOT BALLBÈ[3], Javier, REY LANASPA[4] y José Luis, RAMÍREZ-AMADOR

[1]Departamento de Historia, Geografía y Filosofía, Universidad de Cádiz. Correo electrónico: alejandro.munoz@uca.es. ORCID: 0000-0002-8736-3423

[2]Institución Mila y Fontanals de Estudios en Humanidades, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Correo electrónico: ignacio@imf.csic.es. ORCID: 0000-0002-3190-215X

[3]Departamento de Prehistoria, Universidad Autónoma de Barcelona. Correo electrónico: ermengol.gassiot@uab.cat. ORCID:0000-0003-0457-4805

[4]Dirección General de Patrimonio Cultural, Gobierno de Aragón. Correo electrónico: jreylanaspa@gmail.com

[5]UGEA-PHAM, Department of Earth Science, Universidad de Cádiz. Correo electrónico: joseluis.ramirezamador@uca.es. ORCID: 0000-0001-9122-7574

Resumen: La reproducción de materiales arqueológicos en 3D mediante escáneres láser y técnicas de fotogrametría ofrece un amplio conjunto de herramientas para realizar análisis geométricos y morfométricos. Este trabajo presenta un caso práctico que evalúa la eficacia de los modelos tridimensionales como fuente de información adicional sobre piezas arqueológicas. Para ello, se generaron modelos 3D de alta precisión a partir de un escáner láser de luz estructurada, que fueron procesados con diferentes softwares especializados. Finalmente, se analizan los resultados obtenidos y se proponen interpretaciones sobre las posibles huellas de uso y características funcionales del material estudiado.

Palabras Clave: Arqueología Virtual; escáner láser 3D; morfometría; Neolítico.

Abstract: The reproduction of archaeological materials in 3D using laser scanning and photogrammetry provides a wide range of tools for conducting geometric and morphometric analyses. This study presents a practical application aimed at assessing the effectiveness of three-dimensional models as a source of additional data and interpretative insights. High-precision 3D models were generated using a structured-light laser scanner and subsequently processed with specialized software. The resulting models were analyzed to extract quantitative measurements and morphological features, enabling the formulation of hypotheses regarding the functional use and wear patterns of the studied artifact.

Keywords: Virtual Archaeology; 3D laser scanner; morphometry; Neolithic.

Sumario: 1. Introducción. 2. Objetivos. 3. Metodología. 3.1. Materia y proceso de documentación. 3.2. Post-proceso de malla y cierre de orificios. 3.3. Extracción de métricas y análisis. 4. Resultados.. 4.1. Interpretación funcional: eficiencia de la convexidad y huellas de uso. 4.2. Lecturas socioculturales 5. Conclusiones. 6. Bibliografía.

1. Introducción

La arqueología virtual atraviesa un momento de madurez metodológica gracias a la consolidación de técnicas de documentación tridimensional que integran escaneo laser o luz estructurada y fotogrametría para generar modelos 3D precisos, reproducibles y reutilizables en distintos niveles de análisis (Muñoz-Muñoz *et al.*, 2022, 2025). Estos enfoques aportan un marco robusto para la morfometría, la interpretación funcional y

Fecha de recepción del artículo: 14-IV-2026. Fecha de aceptación del artículo: 05-V-2026

la difusión científica, en línea con las recomendaciones de la disciplina y la práctica editorial especializada (López-Menchero y Grande, 2011; Valle y Rodríguez, 2011).

En este contexto, la fotogrametría basada en Structure from Motion (SfM) ha demostrado ser una alternativa de bajo coste y alta eficacia para capturar geometrías complejas con precisión decimétrica, mientras que los escáneres de luz estructurada permiten documentar con gran resolución la topografía superficial y el microrelieve de objetos arqueológicos, incluyendo aquellos con superficies difíciles o almacenados en condiciones de conservación exigentes (Westoby *et al.*, 2012; McPherron, Gernat y Hublin, 2009; Scafuri y Rennison, 2016).

La calidad metrológica de los modelos depende, no obstante, de la elección del sensor, la configuración de captura y la resolución de la malla, aspectos que deben calibrarse si se pretende combinar mediciones extraídas de modelos digitales con datos tradicionales o comparar diferentes tecnologías. Estudios recientes ofrecen rangos de resolución recomendados por tamaño de pieza y evidencian discrepancias entre resoluciones estimadas por software y resoluciones efectivas (Balolia y Massey, 2021; Diara, 2023).

El procesado de mallas y la inspección geométrica se benefician de herramientas abiertas como MeshLab, que habilitan flujos de trabajo reproducibles para limpieza, reparación, análisis de curvaturas y conversión entre formatos, fortaleciendo la transparencia científica y la trazabilidad de los resultados, tal como recogen los Principios de Sevilla (Seville Principles) para arqueología virtual (Cignoni *et al.*, 2008; López-Menchero, 2013).

Asimismo, en el ámbito de la traceología, la incorporación de métodos cuantitativos de textura y rugosidad mediante confocal, máscaras de desgaste y análisis estadísticos está elevando la capacidad de discriminar huellas de uso y patrones de pulido en materiales líticos, con implicaciones directas para la interpretación funcional; la literatura reciente subraya la necesidad de protocolos de medición consistentes y el potencial de enfoques computacionales para estandarizar la identificación de trazas (Ibáñez y Mazzucco, 2021; Borel *et al.*, 2021; Eleftheriadou, McPherron y Marreiros, 2025).

Partiendo de estos avances, el presente trabajo aplica un escáner de luz estructurada y un postproceso para documentar y analizar morfométricamente un molino lítico procedente del yacimiento de Cueva de Coro Trasito, con el objetivo de evaluar la eficacia del modelo 3D para extraer nuevos datos geométricos y posibles huellas de uso, en coherencia con las pautas de complementariedad metodológica y transparencia propuestas por la arqueología virtual (López-Menchero y Grande, 2011).

El objetivo principal de este trabajo es evaluar la aplicabilidad y eficacia de las tecnologías digitales avanzadas en el análisis morfométrico y la interpretación funcional de materiales arqueológicos mediante modelos tridimensionales de alta resolución. De forma específica, se plantean los siguientes objetivos:

1. Implementar un protocolo de escaneado 3D con luz estructurada para obtener una representación digital precisa de un molino lítico procedente del yacimiento prehistórico de Cueva de Coro Trasito (Tella-Sin), garantizando la exactitud metrológica y la reproducibilidad del proceso.
2. Aplicar flujos de post-procesado orientados a optimizar la integridad geométrica del modelo 3D, incluyendo alineación de escaneos, corrección de errores y cierre de orificios, con el fin de disponer de una malla fiable para análisis posteriores.
3. Extraer y analizar parámetros morfométricos (p. ej., perfiles de curvatura, índices de convexidad y mapas de desviación superficial) a partir del modelo digital, para identificar posibles patrones de desgaste y formular hipótesis sobre la funcionalidad del artefacto.
4. Valorar la idoneidad del escaneado 3D para estudios de huellas de uso, discutiendo sus limitaciones frente a técnicas complementarias y proponiendo enfoques integrados para un análisis funcional completo.
5. Fomentar la incorporación de tecnologías 3D en la investigación arqueológica, subrayando su potencial para la documentación, conservación y difusión de datos, en consonancia con los principios internacionales de transparencia y reproducibilidad.

2. Objetivos

La Cueva de Coro Trasito se sitúa en el término de Tella-Sin (Huesca), a 1.548 m s. n. m., con

acceso por pista forestal y sendero de montaña (Figura 1). Los informes de intervención detallan coordenadas UTM y describen la cavidad como un abrigo amplio, con boca de ~30 m y estructuras internas asociadas a corrales históricos, además de un pequeño curso de agua estacional vinculado al sistema kárstico local (Clemente-Conte *et al.*, 2013). Se trata de una cavidad de grandes dimensiones y orientación favorable para la ocupación humana, con zonas compartimentadas y evidencias de humedad permanente hacia el fondo, rasgos que condicionan tanto la habitabilidad como su potencial uso pastoril en alta montaña (Clemente-Conte *et al.*, 2013).

Figura 1. Arriba: Mapa del emplazamiento de Coro Trasito (1) y de otros yacimientos con cronologías del Neolítico antiguo en el Pirineo central: 2- Cueva Lobrica, 3- Artiga Viturián, 4- Puyascada, 5- Cueva de Els Trocs, 6- Cova del Sardo, 7- Obagues de Ratera, 8- Balma Margineda. Abajo: situación de Coro Trasito y vista aérea de la entrada de la cueva.

Tras sondeos en 2011 y 2013, en 2014 se acometió una excavación en extensión (~70 m^2) en el sector central de la cueva (sondeos 2 y 3), que documentó estructuras negativas (fosas y agujeros de poste) interpretadas como almacenamientos y elementos de compartimentación, junto con conjunto cerámico y lítico; en este contexto se registraron también "piedras planas" y el molino objeto de estudio, hallado sobre carbones y cenizas (Figura 2), lo que sugiere su vinculación a preparación de alimentos (Clemente-Conte *et al.*, 2016).

Figura 2. Molino *in situ* en el sobre un lecho de carbones en el yacimiento de Cueva de Coro Trasito (Tella-Sin, Huesca).
Foto cedida por Ignacio Clemente-Conte.

Los trabajos han definido una secuencia con ocupaciones del Neolítico antiguo y medio (ca. 5310–4400/4370 cal ANE) y una fase de la Edad del Bronce (ca. 1430–1140 cal ANE), sustentada en dataciones AMS y en el análisis de niveles ricos en "fumier" (acumulaciones de estiércol) y horizontes de hogares superpuestos (Gassiot *et al.*, 2018; Gassiot *et al.*, 2020).

La presencia de capas de "fumier" y de silos/fosas indica un uso mixto del espacio (estabulación, almacenamiento y áreas de trabajo/vida), con alternancias temporales entre redil y hábitat; en particular, la fase 4 muestra un episodio doméstico con hogares superpuestos y alta densidad artefactual, que sugiere ocupaciones relativamente estables en la primera mitad del V milenio cal ANE (Mata-Ferrer *et al.*, 2025; Gassiot *et al.*, 2020). Los análisis isotópicos de restos faunísticos apuntan en la misma dirección (Navarrete *et al.*, 2023).

El molino objeto de estudio del presente trabajo, se integra en un paisaje pastoril de alta montaña donde la explotación mixta (ganadería y prácticas agrícolas) se constata desde el Neolítico mediante evidencias arqueológicas y paleoambientales en diversas cavidades del Pirineo central; Coro Trasito destaca por ocupaciones continuas entre 5300–4370 cal ANE y por su altitud (~1.550 m), comparables a otros enclaves como Artiga Viturián (1.440 m), Els Trocs (1.530 m), Cova del Sardo (1.780 m) u Obagues de Ratera (2.345 m) (Gassiot *et al.*, 2021; 2025; Rojo *et al.*, 2013).

El hallazgo del molino sobre carbones/cenizas refuerza su asociación con procesamiento de alimentos y tareas de molienda, posiblemente den-

tro de áreas de trabajo cercanas a hogares (Clemente-Conte *et al.*, 2016).

Investigaciones recientes han ampliado el panorama de la neolitización en el Pirineo, evidenciando ocupaciones subalpinas y alpinas tempranas y una transición desde espacios naturales hacia paisajes pastorales construidos socialmente, con conexiones entre valles, laderas medias y ámbitos altos aptos para trashumancia y manejo de rebaños (Gassiot *et al.*, 2021; Rodríguez *et al.*, 2015).

A escala paleoambiental, registros con ADN sedimentario muestran presencia continua de ovino (~6,5 ka BP) y bovino (~5,9 ka BP) en sectores alpinos del Pirineo, con cambios de comunidades vegetales hacia pastizales abiertos en sinergia con ocupaciones humanas y variabilidad climática (Julián-Posada *et al.*, 2025).

Para épocas neolíticas y de la Edad del Bronce, comparativas europeas evidencian cómo la intensificación y continuidad de prácticas agropastoriles impactan la dinámica de la vegetación y la configuración del territorio, fenómeno documentado en los Pirineos orientales (La Caune de Bélesta) mediante estudios multidisciplinarios (Brochier, Claustre y Heinz, 1998).

Por último, análisis arqueozoológicos en cavidades próximas aportan datos sobre manejo de ovino (alimentación y reproducción) en el Neolítico temprano, complementando el mosaico regional de economías mixtas y su expresión material en útiles de molienda y repertorios líticos (Sierra *et al.*, 2021).

3. Metodología

3.1. Materia y proceso de documentación

Previamente se valoraron los métodos disponibles para la obtención de modelos tridimensionales de molinos del yacimiento de Cueva de Coro Trasito (Tella-Sin, Huesca). Dado que el objetivo principal era analizar con precisión la morfometría de la superficie activa y sus posibles huellas de uso, se optó por el escaneo óptico de luz estructurada frente a la fotogrametría, con el fin de maximizar la calidad geométrica de la malla. La pieza seleccionada es un molino granitoide recuperado durante la campaña de 2015 en la UE 2A5, adscrita a la Edad del Bronce y asociado a una datación de 1417-1230 cal ANE (CNA-2943.1.1) realizada sobre hueso. Su localización y contexto se muestran *in situ* sobre un lecho de carbones y cenizas (Figura 2).

La toma de datos se realizó en el Instituto Milá y Fontanals (CSIC) empleando un escáner de luz estructurada Breuckmann smartScan 3D, operado con el software OPTOCAD. Para maximizar la relación señal-ruido y reducir artefactos de iluminación, la captura se efectuó en una sala a oscuras utilizando únicamente la luz de proyección del escáner. Se instalaron lentes de 90 mm, adecuadas para incrementar la densidad de puntos en áreas reducidas (5-10cm), a pesar de las dimensiones de la pieza. Con el fin de centrar recursos en la calidad geométrica, se priorizó el escaneo sin textura fotográfica.

En primera instancia, se realizó el escaneo de la pieza añadiendo información de color asociado a los puntos para posteriormente extraer una textura, sin embargo, decidimos realizar un segundo escaneo de la pieza captando únicamente la superficie para focalizar la mayor calidad de datos en la superficie del objeto.

La adquisición se organizó en múltiples secuencias de escaneo, generando un conjunto de 149 tomas. Cada secuencia se sometió a un prealineado manual en OPTOCAD, y una vez completado el conjunto se aplicó la función de alineación automática para corregir desviaciones residuales. El resultado se exportó en formato *.CTR para su tratamiento posterior Geomagic y Meshlab. Las especificaciones técnicas del proceso de escaneo, el tamaño de los archivos generados y la resolución final del modelo (polígonos y vértices) se recogen en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de adquisición y postproceso del escaneo

Parámetro	Valor
Tipo de escáner	Structured light
Software de captura	Optocad
Software de postproceso	Geomagic y Meshlab
Número de escaneos	149
Escaneos alineados (*.ctr) [KB]	481871
Escaneos fusionados (*.stl) [KB]	276615
Poly-vertices	2832486
Poly-faces	5665064

3.2. Post-proceso de malla y cierre de orificios

El post-proceso se llevó a cabo en Geomagic X Design con el que se aplicaron:

a. acumulación/unión de mallas procedentes de las distintas secuencias;
b. reparación de errores topológicos (caras degeneradas, bordes abiertos) y normalización de normales;
c. cierre de orificios basado en malla local, destinado a resolver las áreas sin datos debidas a oclusiones o geometrías de difícil acceso.

El modelo resultante se exportó en *.STL para la fase de análisis. Este flujo permitió obtener una malla con 2.832.486 vértices y 5.665.064 caras, cifra adecuada para análisis morfométricos a escala milimétrica.

Previa a la extracción de datos el gemelo digital pasó por un proceso de optimización en Blender v.4.5.4 para cerrar posibles agujeros, orientarlo correctamente y ajustar la escala.

3.3. Extracción de métricas y análisis

A partir del modelo en Geomagic se obtuvieron magnitudes geométricas globales: dimensiones máximas (ancho, altura, profundidad), área superficial y centro de masa (componentes X-Y-Z) (Tabla 2). Estas métricas se emplearon como base para contextualizar los análisis morfométricos de la superficie activa y para la discusión funcional de la pieza.

Tabla 2. Métricas geométricas del modelo 3D

Magnitud	Valor	Unidad
Profundidad	54.80	mm
Longitud	342.30	mm
Anchura	239.04	mm
Superficie activa	62959.27	mm^2
Volumen	2386508.24	mm^3
Centro de masa (X)	50,52	mm
Centro de masa (Y)	−49,17	mm
Centro de masa (Z)	22,19	mm

Para caracterizar la geometría operativa se trazaron dos líneas entre extremos de la cara activa:

a. una línea ajustada a la topografía real de la superficie;
b. una línea recta que une los mismos puntos de inicio y fin.

La comparación entre ambas permite visualizar la concavidad de la superficie de trabajo y sus variaciones locales (Figura 3). Para mejorar la lectura de la curvatura, se representó la línea superficial con una escala de color que codifica el grado de curvatura a lo largo de su trayectoria; esta representación, realizada ocultando temporalmente el objeto, facilita la percepción de las irregularidades y la convexidad global (Figura 4).

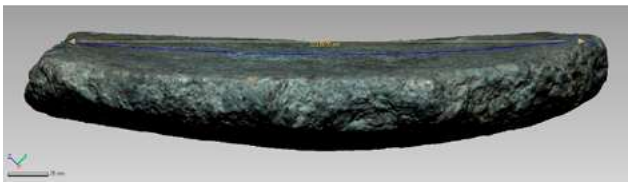

Figura 3. Modelo 3D con comparación entre recorrido superficial (azul) y distancia lineal (amarilla).

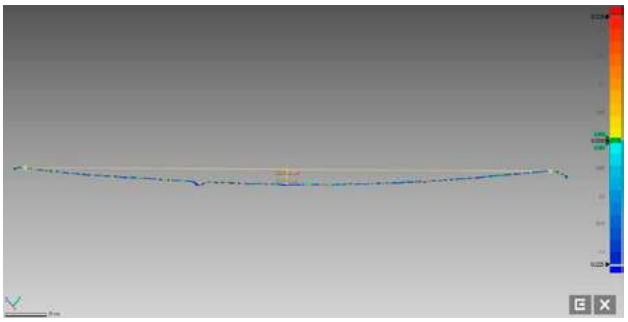

Figura 4. Curvatura superficial representada sobre la línea de referencia (línea amarilla).

Con Meshlab v.2025.07 se empleó la herramienta de lectura de coordenadas XYZ *PickPoints* para muestrear una serie de puntos distribuidos a lo largo de la superficie activa (Figura 5). Las coordenadas se exportaron y se representaron en una gráfica bidimensional (valores X-Y) para evaluar la tendencia geométrica del conjunto. La distribución de puntos sugiere una curvatura suave tipo barquiforme, lo que refuerza la interpretación de concavidad funcional de la cara activa (Figura 6). La selección de puntos y su posición sobre el modelo se documentan para reproducibilidad (Tabla 3).

Para comprender mejor la cinemática y la morfología del desgaste en la superficie activa del molino, se extrajo un perfil topográfico bidimensional de la zona cóncava (Figura 5).

Tabla 3. Coordenadas locales de referencia del modelo 3D.

Point	X	Y	Z	Point	X	Y	Z
0	-0.716622	-149.811	-0.177738	23	-0.660114	-9.05068	-4.24845
1	-0.741171	-143.808	1.59073	24	-0.661824	-2.76533	-4.12253
2	-0.733563	-137.823	1.04265	25	-0.215308	0.821486	-3.96247
3	-0.727302	-133.557	0.591647	26	-0.210017	5.77367	-4.31188
4	-0.275466	-126.217	0.010568	27	-0.209436	12.9636	-4.3502
5	-0.270644	-119.66	-0.308377	28	-0.209449	19.2533	-4.3494
6	0.262491	110.931	0.846776	29	0.662416	27.7608	4.0258
7	0.189073	105.258	1.25636	30	0.214286	37.1813	4.0299
8	-	-	-	31	-0.213465	46.1671	-4.04818
9	-0.252683	-97.7459	-1.4944	32	-0.668354	55.0669	-3.65488
10	-0.252683	-91.1104	-1.70996	33	-0.668588	63.5827	-3.63799
11	-0.6087	-85.8617	-2.18916	34	-0.672117	72.4909	-3.38375
12	-0.686581	-79.1895	-2.3217	35	-0.679902	82.2017	-2.82294
13	-0.689535	-71.6146	-2.43162	36	-0.685737	89.6879	-2.4026
14	-0.679076	-64.0868	-2.8825	37	-0.691895	98.4378	-1.95904
15	-0.673563	-56.0847	-3.27958	38	-0.698563	106.362	-1.47869
16	0.672043	48.0339	3.38911	39	0.704772	113.78	1.03137
17	-0.221326	-43.57	-3.56506	40	-0.716871	124.13	-0.159807
18	-0.647899	-38.314	-5.12839	41	-0.283222	132.732	0.52216
19	-0.659231	-34.6558	-4.31208	42	-0.291476	139.146	1.06723
20	-0.666905	-28.3386	-3.75928	43	-0.307602	147.073	2.1321
21	-0.659801	-22.5256	-4.27099	44	-0.309748	158.473	2.27381
22	-0.664993	-15.3335	-3.89697	45	-0.745464	165.274	1.89996

Si atendemos a las gráficas de la Figura 6, la gráfica inferior izquierda muestra un ajuste parabólico (línea roja), el cual modela la curvatura asumiendo una función cuadrática e identifica el vértice de máxima profundidad. Por el contrario, la gráfica inferior derecha representa un ajuste mediante un arco circular (línea verde), calculado por el método de mínimos cuadrados (LSQ), que representaría una cinemática de desgaste más regular o de tipo pendular.

La comparación visual y analítica de ambos modelos (parábola vs. arco circular) nos permite evaluar qué patrón geométrico describe con mayor fidelidad la concavidad generada por el uso continuado de la herramienta.

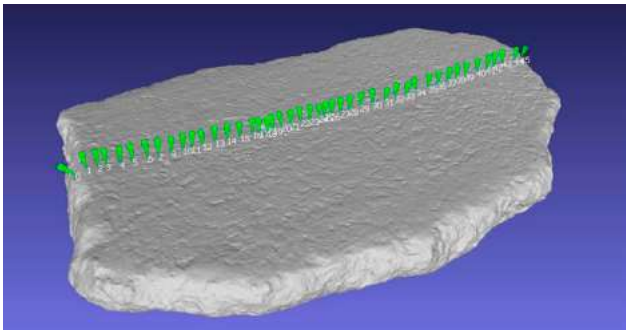

Figura 5. Señalización de los puntos usados en la gráfica para medir la curvatura de la superficie

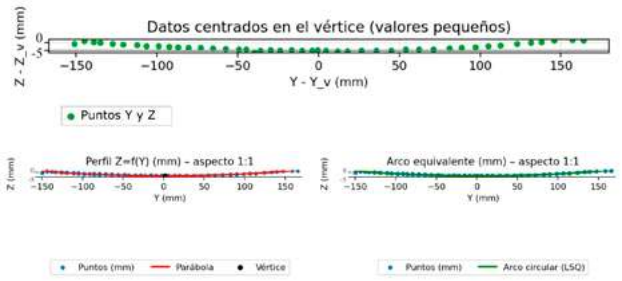

Figura 6. Representación de las coordenadas extraídas del molino.

Con el modelo ya optimizado, se generó un mapa de curvatura local de la superficie de trabajo, codificado mediante una escala de color cualitativa con zonas cóncavas (valores negativos), planas (valores próximos a cero) y convexas (valores positivos). En el caso analizado, la curvatura máxima (zona convexa) alcanza $\kappa = +0{,}7083$ y la mínima (zona cóncava) $\kappa = -0{,}7083$ (siendo "κ" el valor de la curvatura en un punto específico de la superficie geométrica), con una banda intermedia de valores próximos a cero (planos), lo que permite identificar áreas de mayor desgaste/pulido y su dispersión espacial (Figuras 7 y 8).

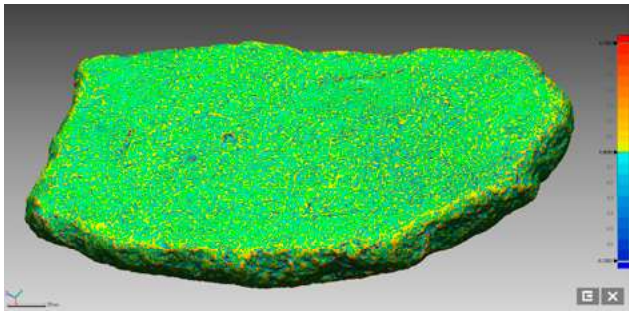

Figura 7. Nivel de desviación o asociada a la rugosidad de la superficie activa del modelo a través de un mapa de color.

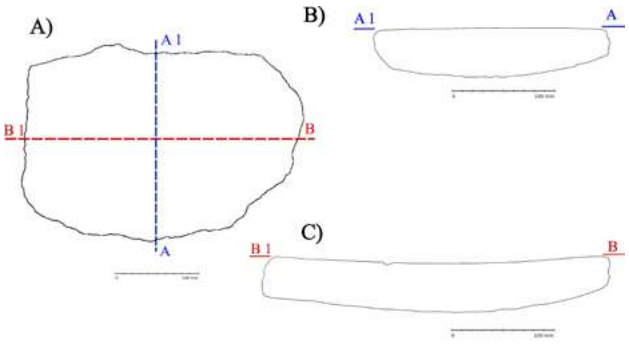

Figura 8. Planta y secciones del molino.

Aunque el escaneo de luz estructurada proporciona mallas de alta resolución aptas para análisis geométricos y morfométricos, la identificación micro-traceológica de huellas de uso requiere técnicas complementarias (microscopía y análisis de textura). En este trabajo, la metodología se centra en la geometría y la distribución del desgaste/pulido a escala mesoscópica, coherente con los objetivos planteados.

4. Resultados

Las métricas generales del modelo (Tabla 2) sitúan la pieza como un molino lítico de grandes dimensiones, con un espesor relativamente reducido respecto a su altura y anchura, coherente con su uso como superficie de molienda. En conjunto, la resolución (poligonado) del modelo es adecuada para análisis morfométricos a escala milimétrica; sin embargo, la combinación de datos de calas manuales y malla digital requiere cautela ante posibles discrepancias de resolución y de estimación de escala. (Balolia y Massey, 2021).

La comparación entre la línea que recorre la superficie real y la línea recta entre los mismos extremos (Figuras 3 y 4) evidencia una concavidad global de la cara activa. La visualización de la línea ajustada a la superficie con codificación de color para la curvatura (Figura 3) muestra una concavidad relativamente regular, con pequeñas oscilaciones locales que pueden asociarse a heterogeneidad del material o a micro-desgastes acumulados.

A partir de los cálculos obtenidos sobre las coordenadas se observa una depresión central respecto al borde de ~5,72 mm, indicando una concavidad efectiva al eje longitudinal, como cabría esperar de un uso prolongado con gestos de vaivén. El muestreo de estas coordenadas y su representación en la gráfica (Figura 5), junto con la recta de referencia (Figura 3) y las secciones obtenidas (Figura 7), refuerzan la lectura de una curvatura suave de tipología barquiforme, consistente con superficies que favorecen el guiado del movimiento de molienda y la evacuación de partículas hacia los márgenes. Este tipo de lectura geométrica (perfiles, línea de base y desviaciones) es un paso estándar para pasar de la inspección cualitativa a la cuantificación como base de interpretaciones funcionales en estudios de desgaste (Borel *et al.*, 2021; Ibáñez y Mazzucco, 2021).

El mapa de curvatura (Figura 7) presenta valores extremos $\kappa_{max} = +0{,}7083$ (convexo) y $\kappa_{min} = -0{,}7083$ (cóncavo), con áreas próximas a $\kappa \approx 0$ (planas). La dispersión de valores convexos en el centro y la presencia de bandas más planas hacia sectores intermedios sugieren una distribución de esfuerzos relativamente homogénea durante el trabajo, con ligeras zonas de concentración que podrían asociarse a trayectorias preferentes de la mano o del útil activo complementario (mano de molino). Estas cartografías de curvatura, cuando se combinan con perfiles y máscaras de desgaste, permiten diferenciar zonas "activas" de zonas "pasivas" y optimizar la detección de superficies pulidas (Borel *et al.*, 2021). La gráfica de coordenadas también muestra una depresión máxima ligeramente descentrada hacia Y negativo, lo que sugiere una ligera asimetría durante el uso.

4.1. Interpretación funcional: eficiencia de la convexidad y huellas de uso

La convexidad de la cara activa es consistente con una reducción del esfuerzo en movimientos de vaivén y circulares, al facilitar el "rodado" del útil. El hecho de que el pulido parezca superar ligeramente el borde sugiere trazados amplios y una utilización intensa que explotó la totalidad de la

superficie, algo frecuente en contextos de procesamiento de alimentos con macro-herramientas (p. ej., molinos y manos) en comunidades neolíticas (Gibaja y Mazzucco, 2015; Masclans, Palomo y Gibaja, 2017).

La lectura del centro de masa y su posición relativa respecto a la depresión central de la cara activa sugiere un posicionamiento estable durante el uso, con posible "auto-apuntamiento" del plano de trabajo hacia la zona más desgastada, un efecto observado en útiles con vida útil prolongada y mantenimiento mínimo (McPherron, Gernat y Hublin, 2009). En todo caso, la confirmación de huellas microscópicas (micropolish, microstriaciones, etc.) exige técnicas complementarias (p. ej., microscopía confocal, texturómetros), que han demostrado ser eficaces para discriminar materiales trabajados y dinámicas de uso (Ibáñez y Mazzucco, 2021).

4.2. Lecturas socioculturales

El análisis morfométrico del molino, junto con su contexto arqueológico, permite ampliar la interpretación más allá de la mera funcionalidad técnica. El hallazgo sobre carbones y cenizas en una cueva que presenta hogares superpuestos y capas de "fumier" sugiere una organización espacial compleja, donde actividades domésticas y prácticas pastoriles coexistieron en un mismo entorno (Gassiot *et al.*, 2020). Esta alternancia entre estabulación y preparación de alimentos indica que la cueva no fue un espacio de uso puntual, sino un lugar integrado en dinámicas de ocupación recurrentes, probablemente vinculadas a ciclos estacionales de alta montaña (Gassiot *et al.*, 2021; Rodríguez *et al.*, 2015). La presencia de un molino de gran formato y desgaste intenso refuerza la hipótesis de estancias prolongadas, lo bastante largas para justificar el procesamiento *in situ* de recursos vegetales, lo que apunta a una economía mixta en la que la molienda formaba parte de la rutina doméstica.

La tecnología empleada en la fabricación y uso del molino revela una adaptación ergonómica a gestos repetitivos: la superficie activa, con curvatura suave y tendencia barquiforme, favorece movimientos de vaivén y evacuación lateral de partículas, reduciendo el esfuerzo y prolongando la vida útil sin necesidad de reavivado frecuente (Masclans *et al.*, 2017; Gibaja y Mazzucco, 2015). La ligera asimetría detectada en el desgaste podría reflejar preferencias gestuales condicionadas por la postura del cuerpo, la mano dominante y la disposición del espacio junto a los hogares, lo que abre una ventana a la reconstrucción de prácticas corporales y organización del trabajo en contextos domésticos de alta montaña.

Por otro lado, la elección de un material granitoide como materia prima plantea interrogantes sobre las redes de abastecimiento y la logística de transporte. Si la roca procede de afloramientos alejados, su presencia en Coro Trasito implicaría planificación y movilidad, reforzando la idea de conexiones entre valles y áreas subalpinas en el marco de la neolitización pirenaica (Julián-Posada *et al.*, 2025; Brochier *et al.*, 1998). Este aspecto enlaza con la construcción social del paisaje, donde la circulación de materiales pesados como los molinos se integra en estrategias de ocupación y explotación del territorio. En conjunto, la pieza no solo testimonia una función técnica, sino que se convierte en un indicador de prácticas alimentarias, organización espacial, movilidad y gestión de recursos en sociedades que, desde el Neolítico hasta el Bronce, articularon su vida cotidiana en entornos de alta montaña.

5. Conclusiones

La documentación tridimensional mediante escaneado de luz estructurada ha demostrado ser una herramienta eficaz para caracterizar la morfometría operativa de macro-herramientas líticas, en concreto del molino procedente de Cueva de Coro Trasito. El modelo obtenido presenta una resolución suficiente para la lectura de perfiles, el análisis de curvatura y la detección de variaciones topográficas a escala milimétrica, permitiendo identificar una convexidad global de la cara activa con tendencia "barquiforme" y un cinturón central de contacto funcionalmente coherente con gestos de vaivén y rotación durante la molienda. Esta geometría favorece el guiado ergonómico de la mano de molino, concentra el esfuerzo en una banda estable y facilita la evacuación de partículas hacia los márgenes, aspectos que sitúan la pieza dentro de un repertorio técnico orientado a la transformación de recursos alimentarios en contextos domésticos de alta montaña.

Las inferencias morfométricas se ven reforzadas por el contexto arqueológico de hallazgo *in situ* sobre carbones y cenizas, indicador de actividades de preparación de alimentos y de una organización

espacial compatible con ocupaciones domésticas recurrentes en un espacio de uso mixto (estabulación, almacenaje y áreas de trabajo). En este sentido, la convergencia entre la lectura geométrica del modelo 3D y la información estratigráfica contribuye a consolidar la interpretación funcional del molino como superficie pasiva de molienda dentro de dinámicas agropastoriles bien documentadas para el Neolítico y la Edad del Bronce en el Pirineo central (Clemente-Conte *et al.*, 2016; Gassiot *et al.*, 2020, 2021).

En relación con el estudio de huellas de uso, los resultados evidencian que el escaneado de luz estructurada ofrece un rendimiento óptimo para localizar y cartografiar el desgaste a escala mesoscópica, pero no sustituye los abordajes traceológicos microscópicos requeridos para identificar micropolish, microestriaciones y anisotropías de textura que discriminen con precisión los materiales trabajados y las modalidades gestuales. Por tanto, la lectura funcional propuesta debe integrarse con protocolos complementarios basados en microscopía y análisis cuantitativos de textura, cuya eficacia para diferenciar patrones de uso ha sido ampliamente corroborada en la literatura reciente (Ibáñez y Mazzucco, 2021; Borel *et al.*, 2021; McPherron, Gernat y Hublin, 2009).

Finalmente, el caso de estudio cumple con los principios de transparencia, trazabilidad y complementariedad metodológica recogidos en las directrices internacionales de arqueología virtual, y aconseja la difusión de archivos fuente y metadatos de captura y postproceso para favorecer la reproducibilidad y la reutilización futura (López-Menchero y Grande, 2011). En síntesis, las tecnologías 3D aplicadas han aportado evidencia cuantitativa sólida que refuerza la función de molienda del molino de Coro Trasito y han mostrado su utilidad para la documentación y el análisis de materiales arqueológicos; con una recalibración metrológica y la integración de técnicas micro-traceológicas, la interpretación quedará plenamente consolidada en términos tanto funcionales como metodológicos.

6. Bibliografía

BALOLIA, Katharine. L.; MASSEY, Jason S. 2021: "How does scan-ner choice and 3D model resolution affect data accuracy?" *Journal of Anatomy*, 238 (4), pp. 679–692. https://doi.org/10.1111/joa.13343

BOREL, Antony; DELTOMBE, Raphael; MOREAU, Philippe; INGICCO, Tomas; BIGERELLE, Maxence; MARTEAU, Julie. 2021: "Optimization of use-wear detection and characterization on stone tool surfaces". *Scientific Reports*, 11, 23661. https://doi.org/10.1038/s41598-021-03663-4

BROCHIER, Jacques E; CLAUSTRE, Françoise; HEINZ, Christine. 1998: "En-vironmental impact of Neolithic and Bronze Age farming in the eastern Pyrenees forelands, based on multidisciplinary investigations at La Caune de Bélesta (Bélesta Cave), near Per-pignan, France". *Vegetation History and Archaeobotany*, 7, pp. 1–9. https://doi.org/10.1007/ BF01393412

CLEMENTE-CONTE, Ignacio; REY LANASPA, Javier; GASSIOT BALLBÈ, Ermengol; RUIZ REDONDO, Aitor ; MAZZUCCO, Niccolò. 2013: Informe de intervenciones arqueológicas en la Cueva de Coro Trasito (Tella-Sin, Huesca) (exp. 074/2013). Informe técnico, Institución Milá y Fontanals (CSIC).

CLEMENTE-CONTE, Ignacio; GASSIOT BALLBÈ, Ermengol; REY LANASPA, Javier; SAÑA SEGUI, María. 2016: "Cueva de Coro Tra-sito (Tella-Sin, Huesca): un asentamiento pastoril en el Pirineo Central con ocupaciones del Neolítico Antiguo y del Bronce Medio". En J. I. LORENZO y J. M. RODANÉS (eds.): *I Congreso CAPA, Arqueología Patrimonio Aragonés. (24 y 25 noviembre 2015)*. pp. 74-83. Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y en Ciencias de Aragón. Zaragoza.

CIGNONI, Paolo; CALLIERI, Marco; CORSINI, Massimiliano; DELLEPIANE, Matteo; GANOVELLI, Favio; RANZUGLIA, Guido. 2008: "MeshLab: an open-source mesh processing tool". En V. SCARANO, R. DE CHIARA y U. ERRA (eds.): *Eurographics Italian Chapter Conference 2008,* pp. 129–136. Pisa. https://doi.org/10.2312/LocalChapterEvents/ItalChap/ItalianChap-Conf2008/129-136

DIARA, Filippo 2023: Structured-Light Scanning and Metrological Analysis for Archaeology: Qua-lity Assessment of Artec 3D Solutions for Cu-neiform Tablets. *Heritage*, 6 (9), pp. 6016–6034. https://doi.org/10.3390/heritage6090317

DÍAZ BONILLA, Sara; OBEA GÓMEZ, Laura; GASSIOT BALLBÈ, Ermengol; CLEMENTE CONTE,

Ignacio; REY LANASPA, Javier, QUESADA CARRASCO, Manuel; GARCÍA CASAS, David; RODRÍGUEZ ANTÓN, David; MAZZUCCO, Niccolò; ANTOLÍN TUTUSAUS, Ferran; VIÑERTA CRESPO, Angel; SAÑA SEGUI, María. 2026: «Coro Trasito (Tella-Sin, Huesca): Una cueva redil del Neolítico Antiguo en la alta montaña". En G. MARTÍNEZ; F. MOLINA; J.A. AFONSOby J.A. CÁMARA (eds.): *Los cambios económicos y sus implicaciones sociales durante el Neolítico (Actas del VI Congreso del Neolítico en la Península Ibérica)*. Granada.

ELEFTHERIADOU, A.; MCPHERRON, S.P. y MARREIROS, J. 2025: Machine Learning Applications in Use-Wear Analysis: A Critical Review. *Journal of Computer Applications in Archaeology*, 8(1), pp. 188–205. https://doi.org/10.5334/jcaa.190

GASSIOT BALLBÈ, Ermengol; REY LANASPA, Javier; CLEMENTE-CONTE, Ignacio; OBEA GÓMEZ, Laura; DÍZ BONILLA, Sara; QUESADA CARRASCO, Manuel; GARCÍA DÍAZ, Virginia; GARCÍA CASAS, David y RODRÍGUEZ ANTÓN, David. 2017: "Estructuras de almacenaje prehistóricas en la cueva Redil de Coro Trasito (Tella-Sin, Huesca)". En J.I. LORENZO y J.M. RODANÉS (eds.): *II Congreso de Arqueología y Patrimonio Aragonés. (09 y 10 noviembre 2015).* pp. 41-48. Edita Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y en Ciencias de Aragón. Zaragoza.

GASSIOT BALLBÈ, E., REY LANASPA, J., CLEMENTE-CONTE, I., OBEA, L., DÍAZ BONILLA, S., QUESADA CARRASCO, M., GARCÍA DÍAZ, V., GARCÍA-CASAS, D., Y RODRÍGUEZ ANTÓN, D. (2018): "Estructuras de almacenaje prehistóricas en la cueva redil de Coro Trasito (Tella-Sin, Huesca)". En *II Congreso CAPA, Arqueología Patrimonio Aragonés* (pp. 41–48). Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y en Ciencias de Aragón.

GASSIOT BALLBÈ, Ermengol; CLEMENTE -CONTE, Ignacio; REY LANASPA, Javier; OBEA GÓMEZ, Laura; DÍAZ BONILLA, Sara; SALVADOR BAIGES, Guillem. 2020: "Dinámicas de ocupación de una cueva redil del neolítico antiguo: hábitat, áreas de trabajo y estabulación en Coro Trasito (Tella-Sin, Sobrarbe)". En J. I. LORENZO y J. M. RODANÉS (eds.): *III Congreso Arqueología Patrimonio Aragonés. (24 y 25 noviembre 2015)*. pp. 29-37. Edita Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y en Ciencias de Aragón.

GASSIOT BALLBÈ, Ermengol; MAZZUCCO, Niccolò; DÍAZ BONILLA, Sara; OBEA GÓMEZ, Laura, REY LANASPA, Javier; BARBA PÉREZ, Marcos; GARCÍA CASAS, David; RODRÍGUEZ ANTÓN, David; SALVADOR BAIGES, Guillem; MAJÓ ORTÍN, Tona y CLEMENTE CONTE, Ignacio. 2021: "Mountains, herds and crops: Notes on new evidence from the Early Neolithic in the southern central Pyrenees". *Open Archaeology*, 7(1), pp. 1015–1034. https://doi.org/10.1515/opar-2020-0193

GASSIOT BALLBÈ, Ermengol; CLEMENTE CONTE, Ignacio; REY LANASPA, Javier; DIAZ BONILLA, Sara; LÓPEZ SÁEZ, José Antonio; SIERRA SAINZ-AJA, Alejandro. 2025: "Nuevas evidencias de la ocupación del Pirineo Central durante el Neolítico antiguo. Las cuevas Lobrica y Artiga Viturián (Sobrarbe, Huesca)". *Munibe Monographs. Anthropology and Archaeology* Series, 3, vol. 3 pp. 99-106. https://doi.org/https://doi.org/10.21630/mmaas.2025.3.13

GIBAJA, Juan Francisco; MAZZUCCO, Niccolò. 2015: "Conociendo la función del utillaje lítico tallado: Veinticinco años de análisis traceológicos aplicados a con-textos neolíticos del noreste de la Península Ibérica". *Journal of Lithic Studies*, 2(2). pp. 1-25. https://doi.org/10.2218/jls.v2i2.1432

IBÁÑEZ, Juan José; MAZZUCCO, Niccolò. 2021: Quantitative use-wear analysis of stone tools: Measuring how the intensity of use affects the identifica-tion of the worked material. *PLOS ONE*, 16(9), e0257266. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257266

JULIÁN-POSADA, Irene; GIL-ROMERA, Graciela; GARCÉS-PASTOR, Sandra; HEINTZMAN, Peter D.; GÓMEZ, Daniel; FILLAT, Federico; MORENO, Ana; LARA-RECUERO, Javier; BOVER, Pere; MONTES, Lourdes; SIERRA, Alejandro; VALERO-GARCÉS, Blas; ALSOS, Inger G. y GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ, Penelope. 2025: "Neolithic pastoralism and plant community interactions at high altitudes of the Pyrenees, southern Europe". *Communications Earth y Environment,* 6, 48. https://doi.org/10.1038/s43247-025-02023-8

LÓPEZ-MENCHERO BENDICHO, Víctor Manuel y GRANDE, Alfredo. 2011: "Hacia una Carta In-

ternacional de Ar-queología Virtual. El Borrador SEAV". *Virtual Archaeology Review*, vol. 2 (4), pp. 71-75.

LÓPEZ-MENCHERO BENDICHO, Victor Manuel. 2013: "International Guidelines for Virtual Archaeolo-gy: The Seville Principles". En *Cultural Heritage.* pp. 269–283. Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-319-01784-6_16

MASCLANS, Alba; PALOMO, Antoni y GIBAJA, Juan Framcisco. 2017: "Functional studies of Neolithic stone axes and adzes: Experimental programme and archaeological applications. *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada*", 27, pp. 177–210.

MATA-FERRER, Sergi; SIERRA, Alejandro; VIÑERTA, Áangel; CLEMEN-TE-CONTE, Ignacio; GASSIOT-BALLBÈ, Ermengo, y SAÑA-SEGUÍ, María. 2025: Los rebaños domésticos a inicios del Neolítico en ambientes de alta montaña el caso de Coro Trasito (5.300 y 4.400 cal. ane) (Tella-Sin, Huesca). En M. CUBAS, F. MARTÍNEZ-SEVILLA, R. BARROSO, P. BUENO (eds.): *Nuevas tendencias en el Neolítico de la península ibérica. VIII Congreso Internacional sobre el Neolítico en la península ibérica. Munibe Monographs. Anthropology and Archaeology Series*, 3. pp. 183–189. https://doi.org/https://doi.org/10.21630/mmaas.2025.3.43

MCPHERRON, Shannon P.; GERNAT, Tin y HUBLIN, Jean-Jacques. 2009: "Structured light scanning for high-resolution documentation of in situ archaeological finds". *Journal of Archaeological Science*, 36 (1), pp. 19–24 https://doi.org/10.1016/j.jas.2008.06.028

MUÑOZ-MUÑOZ, Alejandro 2025: "(Re) Pensando el concepto de "nuevas tecnologías" en arqueología: una reflexión terminológica y epistemológica". *Revista Atlántica-Mediterránea de Prehistoria y Arqueología Social,* 27(27), pp. 173–175. https://doi.org/10.25267/rev_atl-mediterr_prehist_arqueol_soc.2025.v27.12

MUÑOZ-MUÑOZ, Alejandro; FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, Diego; GÓMEZ SÁNCHEZ, María Leticia y VIJANDE VILA, Eduardo 2022: "Una visión tridimensional de la necrópolis megalítica de Trafalgar". En BERNAL-CASASOLA, D.; DÍAZ, J. J.; VIJANDE, E.; EXPÓSITO, J. A. y CANTILLO-DUARTE, J. J. (eds.): *Arqueología Azul en Trafalgar. De la investigación al turismo sostenible*. Editorial Universidad de Cádiz, pp. 96–105.

NAVARRETE Vanessa; VIÑERTA Angel; CLEMENTE CONTE Ignacio; GASSIOT BALLBÉ Ermengol; REY LANASPA; Javier SAÑA María. 2023: "Early husbandry practices in highland areas during the Neolithic: the case of Coro Trasito cave (Huesca, Spain)". *Frontiers in Environmental Archaeology*, vol. 2:1309907. https://doi.org/10.3389/fearc.2023.1309907

REMONDINO, Fabio y CAMPANA, Stefano (Eds.). 2014: *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage*: *Theory and Best Practices*. BAR International Series 2598. Archaeopress. https://doi.org/10.30861/9781407312309

RODRÍGUEZ ANTÓN, David; GASSIOT BALBÈ, Ermengol; MAZZUCCO, Niccolò; CLEMENTE-CONTE, Ignacio; OBEA GÓMEZ, Laura; GARCIA CASAS, David. 2015: "From natural environments to pasto-ral landscapes. Human occupations in the high mountains areas of the central Pyrenees of Catalonia, since the Mesolithic to Bronze Age (ca. 9000–1000 cal BC)". *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 67, 325–337.

ROJO-GUERRA, Manuel; PEÑA CHOCARRO, Leonor; ROYO GUILLÉN, José Ignacio; TEJEDOR RODRÍGUEZ, Cristina; GARCÍA-MARTÍNEZ DE LAGRÁN, Iñigo; ARCUSA MAGALLÓN, Hector; GARRIDO PENA, Rafael; MORENO GARCÍA, Marta; MAZZUCCO, Niccolò; GIBAJA BAO, Juan Francisc; ORTEGA I COBOS, David; KROMER, Bend; ALT, Kurt W. 2013: "Pastores trashumantes del Neolítico Antiguo en un entorno de alta montaña: secuencia crono-cultural de la Cova de Els Trocs (San Feliú de Veri, Huesca)". BSAA Arqueología, LXXIX, pp. 9–55. https://digital.csic.es/hand-le/10261/146650

SCAFURI, Michael P.; RENNISON, Benjamin. 2016: "Scanning the H. L. Hunley: Employing a structured-light scanning system in the archaeological documentation of a unique maritime artifact". *Journal of Archaeological Science: Reports*, 6, pp. 302–309. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.02.023

SIERRA, Alejandro; BALASSE, Marie; RIVALS, Florent; FIORILLO, Denis; UTRILLA, Pilar; SAÑA, María. 2021: "Sheep husbandry in the Early

Neolithic of the Pyrenees: New data on feeding and reproduction in the cave of Chaves". *Journal of Archaeological Science: Reports,* 37, 102935. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.10293513

WESTOBY, Matthiew; BRASINGTON, James; GLASSER, Neil F.; HAM-BREY, Michael J.; REYNOLDS, John. M. 2012: Structu-re-from-Motion photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, pp. 300–314. https://doi.or-g/10.1016/j.geomorph.2012.08.021

VALLE MELÓN, José Manuel; RODRÍGUEZ MIRANDA, Álvaro. 2011: "Características básicas de los modelos tridi-mensionales de elementos históricos". Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. *Revista Ph. Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico* nº 77. Monografico, pp. 145-148.