
ESTUDIOS / STUDIES

Cavidades y espacios subterráneos como negativo del proceso extractivo. Propuesta metodológica para la lectura estratigráfica de las cuevas de La Batida en Carmona (Sevilla)

Cavities and underground spaces as a negative of the extractive process. A methodological proposal for the stratigraphic analysis of La Batida caves in Carmona (Seville)

Andrés Galera-Rodríguez

Universidad de Sevilla, España

agalerar@us.es / ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-6791-4005>

Rocío Anglada-Curado

Servicio de Arqueología, Museo de la Ciudad de Carmona, España

arqueologia@carmona.org / ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0005-2238-9453>

Francisco Pinto-Puerto

Universidad de Sevilla, España

fspp@us.es / ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4608-6818>

RESUMEN

Las cuevas de La Batida es un espacio patrimonial resultado de la extracción de material pétreo en la ladera del conjunto que forma una cantera histórica cercana a la ciudad de Carmona (Sevilla). La lectura de estos espacios excavados, muchos de ellos subterráneos, siempre es compleja por su singular configuración y carácter aparentemente orgánico. Interpretar su espacialidad y morfología como resultado de la acción humana, supone reconocer el origen y la lógica de la excavación. Esta aportación expone los resultados de una lectura cronológica, morfológica y estratigráfica de estos espacios, en relación con el contexto histórico en la que se produjo. Además, se propone un método de trabajo con el apoyo de levantamientos fotogramétricos e impresiones en 3D, que permiten generar una serie de modelos gráficos interpretativos que contribuyan a su conocimiento y difusión.

Palabras clave: Underground Built Heritage (UBH); cuevas; canteras; nube de puntos; modelos interpretativos; fabricación digital.

ABSTRACT

La Batida caves constitutes a heritage space resulting from the extraction of stone material on the slope of a site that forms a historical quarry in proximity to the city of Carmona (Seville). The interpretation of these excavated spaces, many of which are subterranean, is always difficult due to their unique configuration and seemingly organic character. To interpret their spatiality and morphology as a consequence of human activity requires an acknowledgment of the origins and logic behind the excavation process. This contribution presents the findings of a chronological, morphological, and stratigraphic analysis of these spaces, contextualised within the historical framework in which they were created. Furthermore, a methodological approach is proposed, supported by photogrammetric surveys and 3D printing techniques, which facilitate the generation of a series of interpretative graphic models that contribute to their knowledge and dissemination.

Keywords: Underground Built Heritage (UBH); caves; quarries; point clouds; interpretative models; digital fabrication.

Recibido: 30-07-2024. Aceptado: 23-11-2024. Fecha de publicación on-line: 19-03-2025.

Como citar este artículo / Citation:

Galera-Rodríguez, A., Anglada-Curado, R. y Pinto-Puerto, F. 2024: "Cavidades y espacios subterráneos como negativo del proceso extractivo. Propuesta metodológica para la lectura estratigráfica de las cuevas de La Batida en Carmona (Sevilla)", *Arqueología de la Arquitectura*, 21: 417. <https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2024.417>



Figura 1. Plano de localización de las cuevas de la Batida y relación visual y paisajística con la ciudad histórica de Carmona. Elaboración propia a partir de capas de información geográfica obtenidas del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM).

1. CONTEXTO ESPACIAL, HISTÓRICO Y ARQUEOLÓGICO DE LAS CUEVAS DE LA BATIDA

El topónimo cuevas de La Batida¹ hace referencia a un afloramiento de calcarenitas intensamente antropizado que se localiza a escasos 800 m del casco urbano de Carmona en dirección noreste. De hecho, las calcarenitas de Carmona asoman en dos cerros: el que ocupa

1 Este yacimiento se ha conocido históricamente por el nombre de cuevas de La Batida, aunque no se descarta que esta denominación pueda derivar de la palabra "Bastida" a partir de las siguientes acepciones del Diccionario histórico de la lengua española (<https://www.rae.es/dhle/bastida>) (Casares y Lapesa Melgar 1993): 1. s. f. *Fortaleza pequeña y temporal o aislada para la defensa o expugnación de un lugar*, haciendo referencia al asentamiento que existió en las inmediaciones o posibles asentamientos que existieran en sobre las cuevas, o 5. s. f. *Carpint. Armazón de madera*, nombre dado al andamiaje y artefacto necesario para la extracción en la cantera. Otras referencias etimológicas que lo relacionan "Bastir" con la construcción en Diccionario crítico etimológico castellano e hispánico (Corominas y Pascual 2002), aunque parece más relacionada con procesos tectónicos (unir, trenzar...) que estereotómico (excavar, extraer).

la propia ciudad, y el de La Batida (Fig. 1). Ambos cerros quedan separados por una falla que se desarrolla en sentido NE-SO, que determina su diferencia de cota (Herrero Fernández *et al.* 2008).²

La piedra de alcor, como se le denomina habitualmente en Carmona, es, como todas las calcáreas, una roca de origen sedimentario marino, rica en fósiles que se observan en las fracturas con cierta frecuencia. La sedimentación del alcor tiene lugar en el Neógeno, en el límite entre el Mioceno y el Plioceno. El análisis de la estratigrafía geológica de las cuevas demuestra la existencia de estratos de notable espesor, que buzan en sen-

2 El Catálogo General del Patrimonio Histórico Andaluz contiene dos registros de las cuevas de La Batida, correspondientes a sendos yacimientos identificados en el paraje: La Batida. Código 01410240091. El primero es el 48 (Denominación La Batida. Tipología Poblados; Canteras; útiles líticos. Periodo histórico: Paleolítico; Edad del Cobre; Época romana; Edad Moderna). El segundo es el 84 (Denominación La Batida Alta. Tipología: edificios agropecuarios, villae. Periodo histórico: Época romana; Alto Imperio Romano; Bajo Imperio Romano; Edad Moderna).

tido N-NE y que contienen abundantes bioclastos, entre los que se reconocen bivalvos y mallas algales (Herrero Fernández *et al.* 2008).

Esta roca es la base sobre la que se instalarán, a inicios de la Edad del Cobre, las primeras comunidades humanas que poblaron lo que es hoy la ciudad de Carmona. Aunque las razones fundamentales para el asentamiento en este punto tengan más que ver con las ventajas defensivas y de control del territorio que se derivan de su topografía sobresaliente sobre el entorno, de su cercanía a vías de comunicación con importantes enclaves, de la proximidad al mar que suponía el gran golfo de la desembocadura del Guadalquivir y de las oportunidades económicas de un paisaje variado, no son desdeñables las cualidades que el alcor tiene como material de construcción.

Las cuevas están inmersas en un entorno agrícola tradicional, donde se da tanto el cultivo del olivar, todavía en sus variedades autóctonas, como el cereal de secano, en coexistencia con zonas sin explotar en las que crece el matorral bajo propio del ecosistema local.

En la superficie amesetada que se localiza sobre las cuevas, las prospecciones arqueológicas desarrolladas

en los años ochenta del pasado siglo, identificaron restos de un posible yacimiento calcolítico campaniforme y, más al norte, sobre una elevación de la plataforma, un segundo asentamiento, este de época romana, con una laxa cronología entre el siglo I y el IV (Amores Carredano 1982). No obstante, el control que se hizo recientemente del proceso de reforestación de estos terrenos no permitió registrar la presencia de estructuras ni materiales de los periodos mencionados ni de ninguna otra fase histórica.

Los redactores del Catálogo Arqueológico y Artístico de la Provincia de Sevilla recopilaban datos procedentes de los estudios realizados por investigadores de finales del siglo XIX y principios del XX. Mencionan la existencia de un túmulo orientalizante explorado por Vega Peláez en las inmediaciones de la cantera (Hernández Díaz *et al.* 1943). Vega deja una profusa descripción de lo hallado en el transcurso de su “exploración”, si bien, las limitaciones metodológicas y la muy incipiente definición histórica y arqueológica de estos periodos solo permiten inferir una cierta aproximación a las tipologías funerarias y rituales y una laxa atribución cronológica y cultural.



Figura 2. Planta de la cantera y del conjunto de cuevas de la Batida documentadas, junto con su superficie. En negro los espacios subterráneos del yacimiento. Realizado a partir del levantamiento tridimensional mediante nube de puntos. Elaboración propia.



Figura 3. Vista panorámica del corte vertical producido por la extracción de material y los accesos a las cuevas subterráneas en relación con su entorno paisajístico, la vega. Fotografía: autores.

Al pie de esta meseta, sobre la verticalidad del escarpe, varias entradas dan acceso a cinco cavidades, compuestas de diversas salas, numeradas en la planta del conjunto de la cantera (Fig. 2), formada por una superficie al aire libre de aproximadamente 1200 m² en cuyo contorno se han excavado a cielo abierto hasta alcanzar una profundidad respecto a la parte alta de la meseta de 21 m. En ese mismo contorno, localizados en cinco puntos existen excavaciones en cueva que suponen unos 330 m² de superficie a diversas alturas. La de mayor altura es la identificada en la planimetría adjunta como n.º 2, que pasaremos a analizar en profundidad en este artículo.

El origen del conjunto es consecuencia aparentemente de la lenta disolución de las calcarenitas, pero es muy evidente que su forma y tamaño han sido modificados antrópicamente a lo largo de la Historia (Fig. 3). A juicio de los investigadores que han trabajado sobre el lugar, las cualidades de la piedra invitan a situar el origen de la explotación del afloramiento rocoso como cantera a partir de época romana. La presencia de yacimientos de este periodo en los alrededores, así como de abundantes sillares, apoyarían esta tesis, si bien, la profusión de restos constructivos y asentamientos romanos es una realidad compartida prácticamente por todo el término de Carmona.

Con certeza y a tenor de la información disponible, el uso más antiguo se remonta a época andalusí, concretamente al periodo almohade, conocido en tiempos de Bonsor y la Sociedad Arqueológica de Carmona (*Memorias* 1887), y por otras investigaciones recientes (Castro Fernández *et al.* 2001). A este momento se atribuye el uso como espacio de culto de una de las salas situadas más profundas del complejo geológico, quedando abierta la posibilidad de que se trate de un lugar de retiro del siglo XII, al que se accede por varias bocas de extracción de material, hoy prácticamente colmatadas de vertidos arenosos.

La siguiente referencia histórica que compete al conjunto de La Batida se vincula, de nuevo, a la vida eremítica, esta vez, cristiana. De hecho, la primera noticia que se tiene sobre la presencia de eremitas en Carmona alude precisamente a las cuevas de La Batida (Miura Andrades 1997). En 1454, se tiene noticia de unas diligencias practicadas ante el arzobispo de Toledo por causa de una sentencia de excomunión contra el convento franciscano de Santa María de las Cuevas de Carmona, que se suponen, están referidas a los mismos hermanos ermitaños mencionados en el documento de 1422. Posteriormente, Pío II autoriza en 1461, a instancias de los regidores del Concejo, el traslado de todos los ermitaños de Carmona a la ermita de San Sebastián, germen del futuro convento de San Francisco. El episodio eremítico cristiano, muy activo desde el siglo XIV, encuentra aquí su final, en el afán de las autoridades civiles y religiosas de encauzar y controlar esta forma de espiritualidad un tanto ácrata. La reducida comunidad de ermitaños que habitaba en las cuevas también abandonó su retiro y se unió a la congregación en ciernes de San Francisco.

No obstante, en Carmona, las cuevas de La Batida son fundamentalmente percibidas como antiguas canteras, principalmente porque la fábrica gruesa en piedra de la Prioral de Santa María procede de aquí, mientras que las piezas ornamentales se ejecutan con materiales traídos desde el cerro de San Cristóbal del Puerto de Santa María o desde la cantera de Martelilla en Jerez, aprovechando el canal comercial abierto con las canteras gaditanas durante la construcción de la catedral de Sevilla (Ampliato Briones y Rodríguez Estévez 2017).

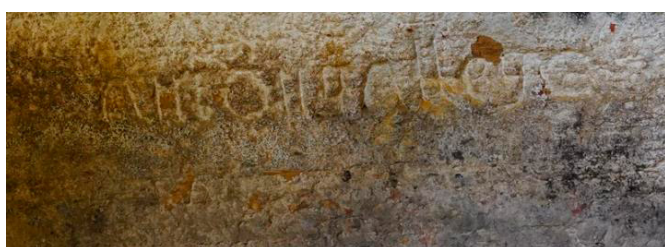
En ambos casos, San Cristóbal y La Batida, la extracción mediante cuevas, frente a la extracción al aire libre se debe a las propias características de la piedra. Su exposición al soleamiento merma sus cualidades para

la labra, por lo que mantenerla protegida con un grado de humedad constante facilitaba la homogeneidad en el suministro y su uso en la fábrica de los edificios, sobre todo muros y cimentaciones.

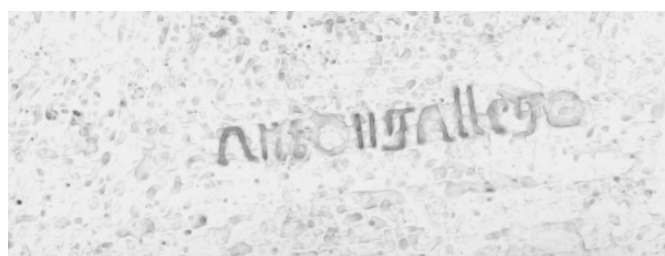


Figura 4. Detalle en el que se aprecia la estructura porosa de la piedra de alcor. Fuente: Servicio de Arqueología, Museo de la Ciudad de Carmona.

La iglesia de Santa María comienza su construcción en 1424, sobre el solar de la antigua mezquita aljama, que, consagrada y exorcizada, había funcionado como iglesia mayor hasta que su deterioro lo hizo inviable. Esta primera fase constructiva llegó hasta 1518 y durante su desarrollo participaron como maestros canteros Rodrigo Gibaja, Alonso Rodríguez y Antón Gallego. Este último dejó su firma por dos veces en forma de inscripciones en los frentes de la cantera. En una de ellas



5a



5b

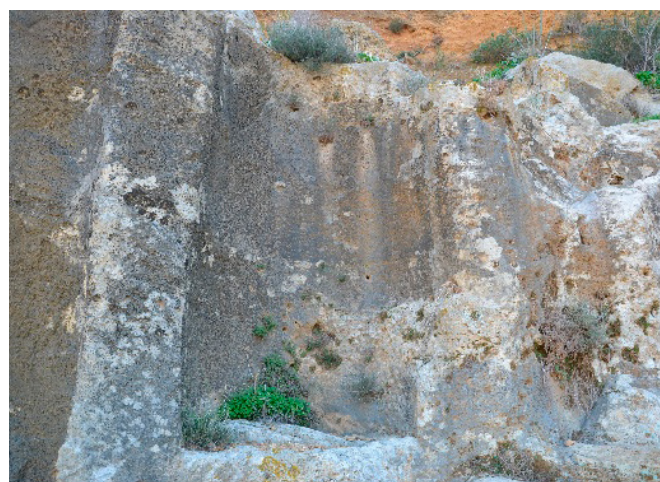
Figura 5. Inscripción del maestro cantero Antón Gallego en el interior de la cueva. (a) Fotografía del estaco actual de la inscripción, oculto parcialmente por pintadas contemporáneas. (b) Fragmento del levantamiento tridimensional elaborado mediante nube de puntos de alta precisión. Fotografía: autores.

simplemente deja escrito su nombre –*anton gallego*– (Fig. 5) mientras que en la otra proporciona una fecha: *año de iIdXVIII me fecit anton gallego* (“año de 1518 me hizo antón gallego”; Fig. 6a). Los potentes frentes de cantera que dibujan la primera y más característica imagen del conjunto, así como las negativas de sección cilíndrica producidas por la extracción de fustes completos que parecen ponerse en relación con la construcción de la iglesia (Fig. 6b).

Los bloques de sillares en la fábrica de Santa María se asemejan a los usados por el maestro cantero Alonso Rodríguez para la reconstrucción del cimborrio de la catedral de Sevilla en 1511, de 125 cm de largo, 83 cm de ancho y 63 de alto. A nivel tipológico también se podrían asemejar, dependiendo de la longitud, a las proporciones de las tablas grandes o mayores de 95-110 cm de largo, 40-45 de alto y 22 de grosor, o a las tablas



6a



6b

Figura 6. (a) Inscripción del maestro cantero Antón Gallego junto con el año *iIdXVIII me fecit anton gallego*. (b) Negativas de extracción de fuste monumentales. Fuente: Servicio de Arqueología, Museo de la Ciudad de Carmona.



7a



8a



7b



8b

Figura 7. (a) Monograma IHS con coronación de cruz latina. (b) Inscripción con la fecha de 1679. Fuente: Servicio de Arqueología, Museo de la Ciudad de Carmona.

Figura 8. (a) Marca de cantero. (b) Rebaje para colocar candil. Fuente: Servicio de Arqueología, Museo de la Ciudad de Carmona.

cuadradas de 60-70 cm de largo, 50-60 de alto y 20 de espesor usadas en el arzobispado hispalense durante el tardogótico (Rodríguez Estévez 1998).

Si bien, no hay referencias documentales que permitan fijar el fin de la explotación de la piedra de este enclave, su frecuentación con otros fines se prolonga hasta prácticamente los tiempos actuales. En el estudio realizado por el grupo de arqueólogos e historiadores que se menciona al principio de este apartado, se identifica la presencia de una serie de marcas de distinta naturaleza grabadas en las paredes. Entre ellas, en varias ocasiones aparece el monograma IHS del nombre de Jesucristo (Fig. 7a), en algún caso coronado por una cruz latina, signo que fue adoptado por los jesuitas como símbolo propio, proponiendo la hipótesis de que se trate de un *via crucis* usado por los jesuitas regresados del exilio tras la expulsión de 1767 que, sin propiedades ni sedes en las que realizar

sus cultos, los celebrarían de forma precaria y con cierto espíritu de clandestinidad (Castro Fernández *et al.* 2001).

Otros muchos elementos de carácter epigráfico se conservan en las distintas paredes que configuran el conjunto. Aparece un epígrafe con la fecha de 1679 (Fig. 7b) que se interpreta como vigencia de la explotación de la cantera, ya que aparece junto a un frente de extracción de sillares (Castro Fernández *et al.* 2001).

Otras son las posibles marcas de canteros distribuidas por los distintos ámbitos (Fig. 8a), antorcheras y pequeñas hornacinas cuyos rastros de fuego indican claramente su función de acoger un candil (Fig. 8b), mechinales que servirían para anclar los andamios que permitían acceder a las zonas altas, etc., componen todo un mundo de huellas arqueológicas que ilustran sobre aspectos menores de las tareas de construcción que no pueden ser conocidos por medio de otras fuentes históri-

cas y que nos sitúan junto a lo cotidiano de una actividad económica y social fundamental.

La existencia de una era en la explanada exterior de las cuevas y de pequeñas construcciones precarias de ladrillo o mampostería, así como las ingentes cantidades de estiércol depositado en los espacios interiores hablan de un uso agropecuario del entorno durante la última centuria. Para el pastoreo de cabras y ovejas, ampliamente desarrollado en el paisaje de Los Alcores tan rico en vegetación de ramoneo, las cuevas ofrecen un refugio amplio y seguro en el que rebaño y pastor encontrarían acomodo frente a las inclemencias meteorológicas. Este uso de abrigo explica el ennegrecimiento de parte de las paredes y los techos de las salas más exteriores, pues se encenderían hogares para calentarse. Todo uso implica necesariamente desgaste, pero el mantenimiento de las funciones de cualquier elemento histórico es también un compromiso para su perduración. Una vez que se abandona la era y que la mejora del contexto en que se desarrolla el pastoreo permite prescindir de refugios con tan escasas condiciones, las cuevas y su entorno quedan abandonadas a su suerte. Comienzan usos no reglados de este paraje, que, en ocasiones, traen consigo actos vandálicos, como las pintadas y grafitis, de compleja eliminación en la porosa piedra de alcor.

El Ayuntamiento de Carmona entiende que las cuevas de La Batida constituyen una pieza fundamental del patrimonio histórico de Carmona y que la lectura diacrónica de la ciudad requiere de la incorporación de este complejo. A los evidentes valores patrimoniales (arqueológicos, históricos, etnológicos), La Batida superpone un indudable interés paisajístico, con panoramas únicos –tanto de las cuevas desde la ciudad, como de la ciudad desde las cuevas–, así como un atractivo medioambiental tampoco desdeñable (Fig. 9).

A partir de finales de los 90, se plantea la adquisición de los terrenos como punto de partida básico para articular una estrategia de conservación. Las canteras se encontraban dentro de una finca privada. Se trata de un olivar tradicional, con viejos árboles de las variedades locales de aceituna, que hay que reconocer como una auténtica reliquia de una forma de explotación que ha sido prácticamente barrida en el término municipal carmonense por las nuevas fórmulas intensivas y superintensivas. Una vez que el Ayuntamiento se hizo con la propiedad, se auspició la creación de una zona verde y parque medioambiental. Se partía de la recuperación del tránsito sobre algunos caminos antiguos para dar forma a una ruta que desembocase en las cuevas. Se hicieron propuestas basadas en una serie de ideas que pretendían

sentar bases para el disfrute del entorno desde un punto de vista medioambiental, paisajístico y deportivo, contemplando los contenidos fundamentales de carácter histórico y arqueológico que constituyen el principal valor del conjunto. Pero para el desarrollo de estos fines es imprescindible el conocimiento y la puesta en valor de este patrimonio, para lo que se propone una metodología de trabajo que ahora presentamos.

Este mismo planteamiento se está aplicando al repertorio de estructuras subterráneas con las que cuenta Carmona (Fig. 10), y que tiene en las cisternas un tipo muy numeroso dentro de sus murallas, pero que no es ajeno a las áreas suburbanas. Al igual que las canteras están talladas en la roca, aunque el cuerpo central se puede completar con una rosca de mampuestos para alcanzar la cota adecuada (Conlin Hayes 2001). La relación entre ambos tipos de espacios excavados ha conformado un conjunto patrimonial de gran interés. Por último, para terminar de poner en contexto el caso de estudio con el complejo de estructuras subterráneas de Carmona, cabe mencionar la existencia de una red de galerías de captación de aguas subterráneas, cuya cartografía se encuentra aún en fase de elaboración (Orche Amaré *et al.* 2018).

2. EL PROBLEMA DE LA CLASIFICACIÓN TIPOLOGICA Y EL ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS SUBTERRÁNEAS

Las cavidades y los espacios subterráneos patrimoniales presentan unas características singulares y únicas. Estos elementos fueron concebidos o fueron resultado como cavidades y espacios de condición subterránea, careciendo de elementos arquitectónicos y constructivos diferenciada de su envolvente natural pétreo, por lo que no se pueden clasificar como edificios patrimoniales. Por su complejidad geométrica, que depende de las condiciones geológicas de la piedra y a su vez de los procesos técnicos de la extracción de material, lo que genera volúmenes espaciales con morfologías irregulares y superficies de geometría compleja, sin ningún paramento regular y ortogonal. Esto dificulta tanto la documentación gráfica como la visualización espacial de esta categoría patrimonial particular. Por último, su condición subterránea hace que queden habitualmente ocultos y con difícil acceso, y cuando no tienen un uso específico, caen en el olvido. Ante estos problemas se detecta una falta de criterios comunes y estándares para realizar una toma de datos unificada.

La necesidad de consenso en la clasificación de este tipo de patrimonio ha derivado a la aparición de una categoría patrimonial específica y reconocida científicamente: Underground Built Heritage (UBH) que en castellano se podría traducir como Patrimonio Subterráneo Construido, y que define la tipología patrimonial a partir de conceptos como la posición respecto a la línea de tierra, la relevancia cultural y el carácter antrópico, dando origen a pautas que permitan crear una estandarización para la clasificación, estudio y regeneración de estructuras históricas (Varriale 2021).

La categoría UBH pueden ser espacios subterráneos naturales como cavidades, (Ubierna 1998) y espacios excavados como infraestructuras de abastecimiento de agua (Orihuela y Vilchez 1987), de depósito de alimentos como silos de grano (Valls *et al.* 2015), bodegas (Fuentes Pardo y Guerrero 2006), de extracción de materiales, funerario o religioso (Germinario *et al.* 2020) entre otros. Las peculiaridades de esta tipología patrimonial demanda estrategias de registro y análisis específicos, que atienden al problema teórico de una lectura estratigráfica que resulta inversa al proceso habitual, de carácter tectónico y topológico, que configura habitualmente una arquitectura. El espacio surge así, como negativo de las operaciones necesarias para la extracción de material o la configuración de un espacio.

Concretamente para las tipologías de cantera encontramos algunos trabajos que avanzan en su comprensión y análisis, siempre con las limitaciones de uso de documentos gráficos y lecturas en detalle de sus paramentos. Destacan por su similitud morfológica así como por su proximidad las canteras de Peñatejada y Santa Ana de la Albaida en Córdoba (Bermúdez Cano *et al.* 2017; Gutiérrez Deza *et al.* 2004) y la cantera de San Cristóbal en el Puerto de Santa María, Cádiz (López Amador y Ruiz Gil 2007; Naranjo Redondo 2021)

Este trabajo propone un planteamiento metodológico multidisciplinar adaptado a la tipología patrimonial UBH que permita mejorar las estrategias de conocimiento y salvaguarda, basada en distintas fases y en un planteamiento multidisciplinar que podemos resumir: En primer lugar, conocer el estado actual del caso, realizando estudio cronológico, –desarrollado en apartados previos–, así como su caracterización geológica y del entorno. En segundo lugar, realizando un levantamiento tridimensional mediante nube de puntos que permita describir gráficamente la espacialidad y resuelva las limitaciones de los levantamientos tradicionales en proyecciones planas cuando se quieren representar superficies de geometría

compleja. Pero esta investigación intenta ir más allá planteando una serie de modelos interpretativos que permitan describir pormenorizadamente y de forma detallada y exhaustiva la información patrimonial del elemento potenciando la presencia del relieve. Para ello se han utilizado distintas técnicas gráficas, desde la identificación espacial y material mediante ortofotos de la nube de puntos a la fabricación de piezas físicas mediante impresión 3D para obtener complementariamente una experiencia táctil.

3. REGISTRO, LEVANTAMIENTO Y ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO

Pondremos como ejemplo el flujo de trabajo seguido en el registro y análisis de la cavidad n.º 2 de las cuevas de La Batida en Carmona (Fig. 2). Por lo expuesto en apartados anteriores, donde subrayamos la existencia de la firma del maestro –*anton gallego*– (Fig. 5) en esta cavidad y en el pavimento del crucero de la Iglesia Mayor Prioral de Carmona, podemos situar las acciones extractivas de material en un marco temporal situado entre finales del siglo XV y principios del XVI, vinculado a esta fábrica. Se trataba pues, de obtener materiales para proseguir sus muros y elementos estructurales principales. La pregunta fundamental es cómo se desarrollaron estas operaciones, qué volumen fue extraído y qué tipo de material y formatos se obtuvieron.

3.1. Levantamiento tridimensional para la documentación de espacios subterráneos patrimoniales

En función del nivel de detalle que se quiera alcanzar y de la complejidad geométrica del elemento patrimonial, se pueden usar distintas metodologías de levantamiento. En muchos casos, si se quiere obtener una documentación geométrica exhaustiva, es necesario recurrir a un levantamiento digital mediante nube de puntos tridimensional, que en función de la técnica empleada y de la precisión de los aparatos utilizados, tendrá mayor o menor detalle y exactitud (Pinto Puerto *et al.* 2021). El alto nivel de detalle obtenido por las nubes de puntos permite documentar elementos de geometría compleja sirviendo de base para un el modelado tridimensional (Acosta *et al.* 2022), que mejora el análisis histórico, evolutivo o constructivo entre otros tantos de los edificios (Benavides López *et al.* 2020; Millán-Millán 2021). Este tipo de recursos también permite la reconstrucción virtual de bienes patrimoniales desaparecidos o frag-

mentados (Angulo Fornos 2013; Luca y Abergel 2022). Cuando se trabaja sobre la documentación de espacios en cavidades o subterráneos, la toma de datos exhaustiva adquiere mayor relevancia si cabe, ya que generalmente son lugares de difícil acceso y una morfología irregular de geometría compleja, donde los planos horizontales y verticales suelen ser inexistentes (Centarti *et al.* 2024; Galera-Rodríguez *et al.* 2022), lo que dificulta la posibilidad de que puedan ser documentados correctamente por métodos convencionales de levantamientos analógicos.

Para la obtención de un levantamiento tridimensional detallado es necesario recurrir a capturas digitales, siendo la tendencia más habitual en la mayoría de las investigaciones actuales sobre tipologías patrimoniales subterráneas (Clini *et al.* 2019; Rodríguez González *et al.* 2015)

A esto se une la dificultad de su representación y codificación gráfica a través de vistas proyectivas convencionales mediante la elección de planos de corte que describan correctamente espacios generados a partir de geometrías complejas. Por ello, para documentar íntegramente el conjunto patrimonial de las cuevas de La Batida, se decide realizar un levantamiento tridimensional a partir de captura digital utilizando dos métodos distintos en función del objetivo buscado.

3.1.1. Captura digital mediante escaneado láser

Su objetivo principal es la documentación geométrica exhaustiva de las cuevas en su conjunto. Se lleva a cabo mediante el procedimiento descrito en la tabla 1.

1. Planificación	1.1. Reconocimiento y análisis de la documentación gráfica existente. 1.2. Reconocimiento del bien patrimonial mediante visita de campo. 1.3. Estudio de la viabilidad técnica en función de los equipos técnicos disponibles.
2. Captura de datos	2.1. Montaje de equipos de iluminación artificial en los espacios que así lo requieren. 2.2. Posicionamiento de equipos de toma de datos (escáner 3D) en ubicaciones previamente planificadas.
3. Trabajo en Gabinete	3.1. Verificación <i>in situ</i> de las nubes de puntos generadas, comprobando parámetros de solapamiento y precisión de la nube. 3.2. Registro y ensamblaje de las diversas nubes capturadas en una única nube de puntos mediante la aplicación de post-procesado proporcionada por el fabricante del escáner.
4. Resultados	Generación de una documentación gráfica exhaustiva, así como de los modelos interpretativos necesarios para describir el bien patrimonial en su totalidad, desde el conjunto al detalle de uno de los espacios elegidos.

Tabla 1. Flujo de trabajo específico para la toma de datos mediante escaneado láser y modelado de espacios subterráneos patrimoniales.

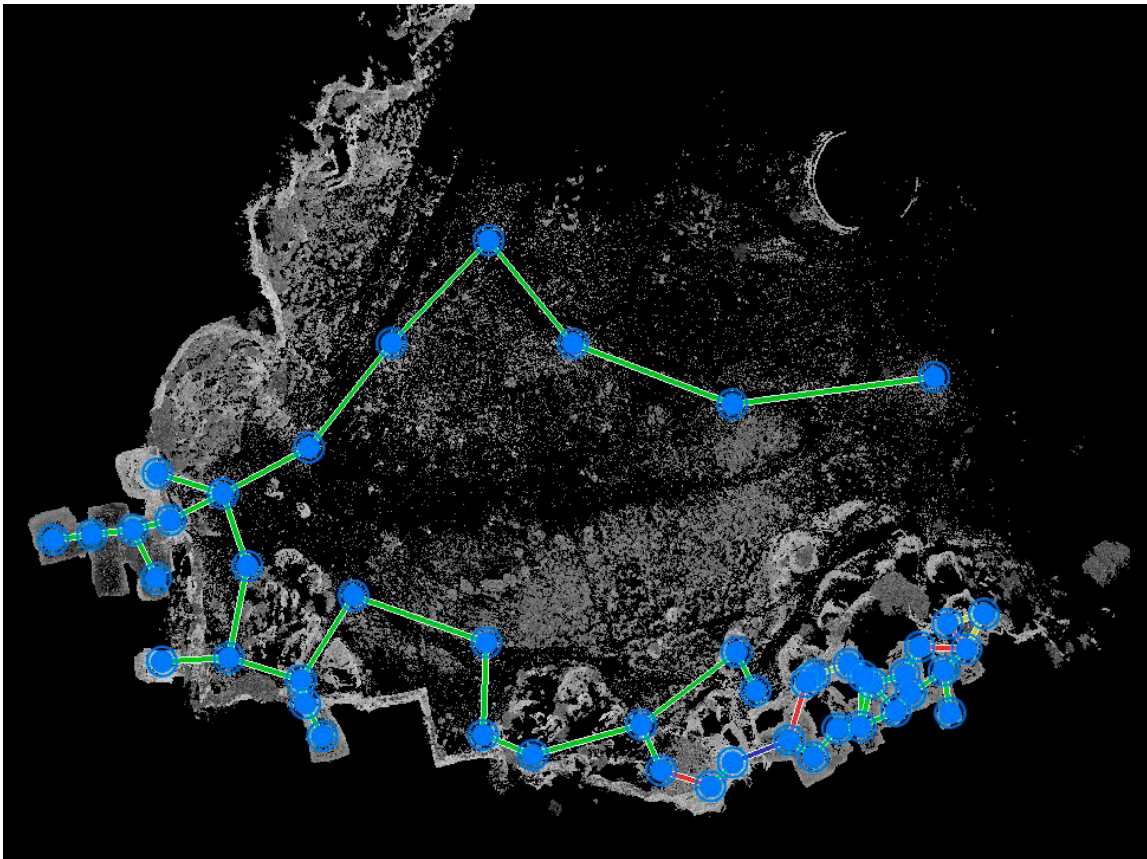


Figura 9. Estacionamientos con las vinculaciones realizados para la generación a la nube de puntos. Elaboración propia.

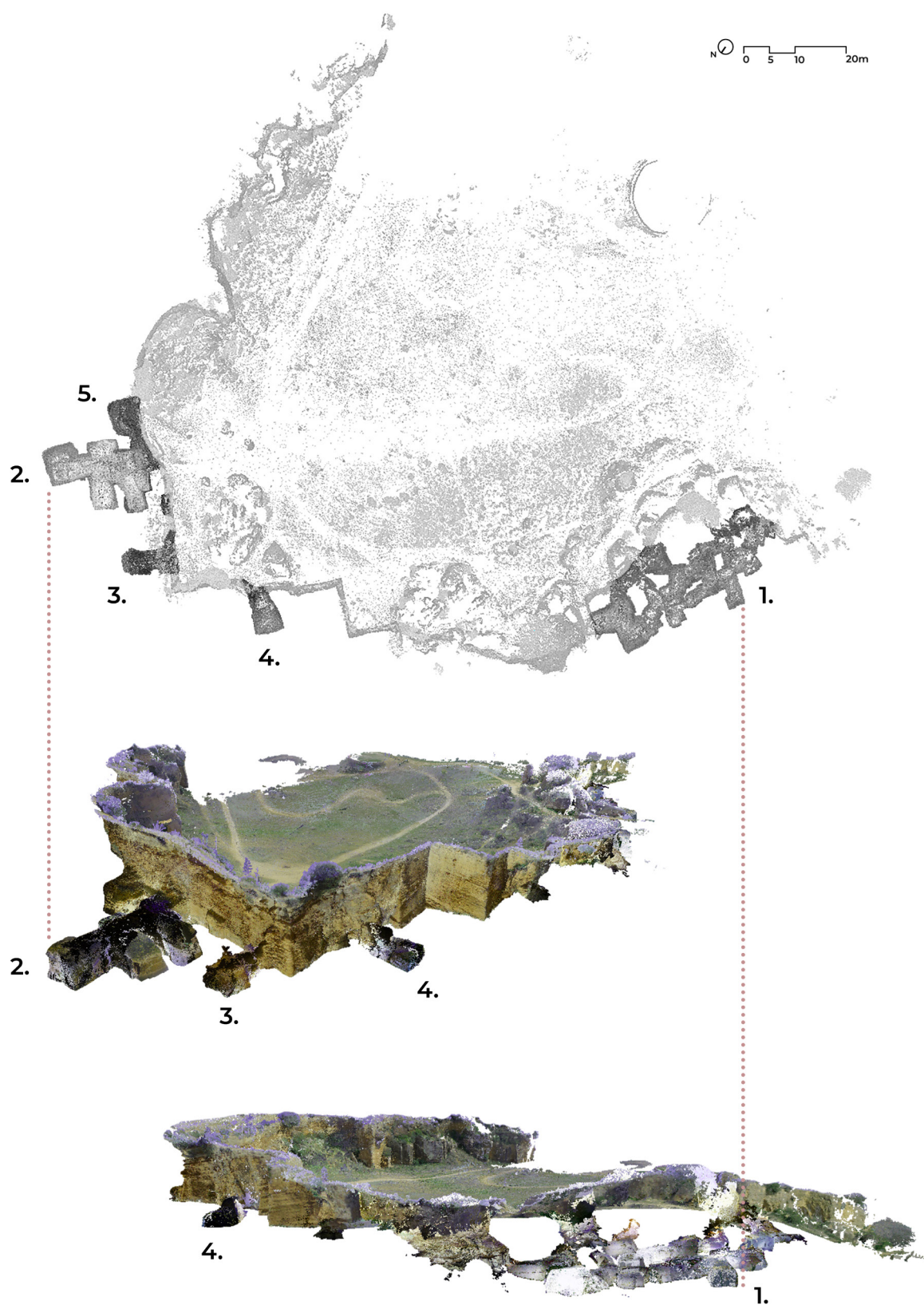


Figura 10. Resultado de la fase 1, nube de puntos generada con escáner 3d del conjunto de la cantera. Vistas en planta coloreando de oscuro las zonas subterráneas del yacimiento (a) y vistas axonométricas desde el interior del terreno (b) y (c). Elaboración propia.

La toma de datos se realizó con el escáner Leica RTC 360 con un total de 47 estacionamientos (Fig. 9), siguiendo las pautas de investigaciones análogas (Alessandri *et al.* 2020). Por una parte, se realiza la toma de datos de la parte exterior y de las cuevas más abiertas del conjunto del corte del terreno, documentando todo este espacio en forma de plaza con 28 estacionamientos, realizados con una trayectoria cíclica. Esta toma de datos ha servido para tener una geometría del conjunto completo que se ha georreferenciado espacialmente. Así podemos obtener secciones del yacimiento completo como la expuesta en la figura 2, tanto horizontales como verticales, localizando cada cavidad respecto a la meseta de la que forma parte y que ha sido descrita en los apartados iniciales.

Por otra parte, se realiza la toma de datos de la cueva de mayor dimensión, que a su vez es también la más profunda y donde las bocas de entrada son más angostas, lo que dificulta la vinculación de los estacionamientos entre el interior y exterior. En esta cueva, al tener limitados los accesos, la iluminación natural es prácticamente inexistente, por lo que, si se quiere obtener una nube de puntos coloreada con las texturas del material, es preciso utilizar un sistema de iluminación artificial. En este caso se utilizan focos led asociados a un generador de energía y suplementado con una serie de focos autónomos para zonas de sombras que no cubren los focos principales. Se realizan un total de 19 estacionamientos en esta segunda adquisición.

Durante la toma de datos de cada estacionamiento, se va verificando el correcto registro de las superficies y se van vinculando los distintos estacionamientos utilizando una *tablet* y con *software* específico del escáner. Una vez realizadas las dos tomas de datos independientes, en gabinete se verifican que las nubes de puntos y las vinculaciones de los distintos estacionamientos se ha generado correctamente, dando lugar a dos nubes de puntos independientes pero cuyos escaneos parciales conforman un bloque coherente e indeformable en cada una de ellas. Posteriormente, se procede a unir las dos nubes de puntos, la parte exterior y la del interior de la cueva de mayor tamaño buscando puntos comunes de ambas nubes. Pese a la poca superficie de solapamiento que existe entre las nubes debido a las dimensiones reducidas de las 4 bocas de la cueva, se consigue una vinculación adecuada en 3 de ellas, siendo suficiente para obtener así una nube de puntos de todo el conjunto del bien patrimonial, tanto interior como exterior (Fig. 10).

3.1.2. Captura digital mediante fotogrametría

Además de la nube de puntos generada mediante escáner 3D, se realiza un modelo fotogramétrico complementario parcial (Fig. 11), en concreto del espacio en el que se centra esta investigación: cueva n.º 2 de la figura 2. Esta toma de datos independiente se realiza para obtener ortofotos de alta resolución de los distintos paramentos a fin de poder identificar huellas y discontinuidades en los paramentos que nos informan del proceso extractivo seguido. El nivel de información superficial ofrecido por las texturas generadas con este método es muy superior al que ofrece la información de RGB de la nube de puntos modelo obtenida directamente por el escáner, donde es más difícil identificar la información patrimonial debido a la resolución de la nube y a la inferior calidad óptica de la cámara integrada en el equipo de escaneado.

Se lleva a cabo mediante el esquema de fases que se describe en la tabla 2.

1. Planificación	1.1. Reconocimiento del bien patrimonial mediante visita de campo. 1.2. Estudio de la viabilidad técnica en función de los equipos técnicos disponibles.
2. Captura de datos	2.1. Toma de datos fotográfica de la cavidad n.º 2 para completar en detalle la documentación obtenida en la fase de escaneado.
3. Trabajo en Gabinete	3.1. Procesamiento de las imágenes en <i>software</i> de fotogrametría digital y obtención de modelo de malla texturizada. 3.2. Volcado de modelo en formato 3D de intercambio (.OBJ) para su edición en <i>software</i> de modelado tridimensional.
4. Resultados	Generación de ortoimágenes de la cueva n.º 2 para el análisis exhaustivo de huellas y discontinuidades, y su trasposición a una hipótesis del proceso extractivo.

Tabla 2 Flujo de trabajo específico para la toma de datos mediante fotogrametría.

El levantamiento fotogramétrico es generado a partir de 334 fotografías realizadas tanto del interior de la cavidad como del exterior inmediato y del acceso a la misma. Pese a que el espacio no tiene un tamaño excesivamente grande, es necesario realizar más fotografías que si fuera el levantamiento de un edificio con geometrías ortogonales, debido a la irregularidad de los paramentos. Para poder obtener un procesamiento optimizado a la hora de generar el modelo, las fotografías se realizan con un recorrido cíclico, iniciando y acabando en el exterior y entrada de la cueva. Las fotografías se realizan a una distancia media de 4 m al paramento y una distancia entre fotos de 1 m. No es necesario incorporar iluminación artificial ya que la abertura de la cueva al

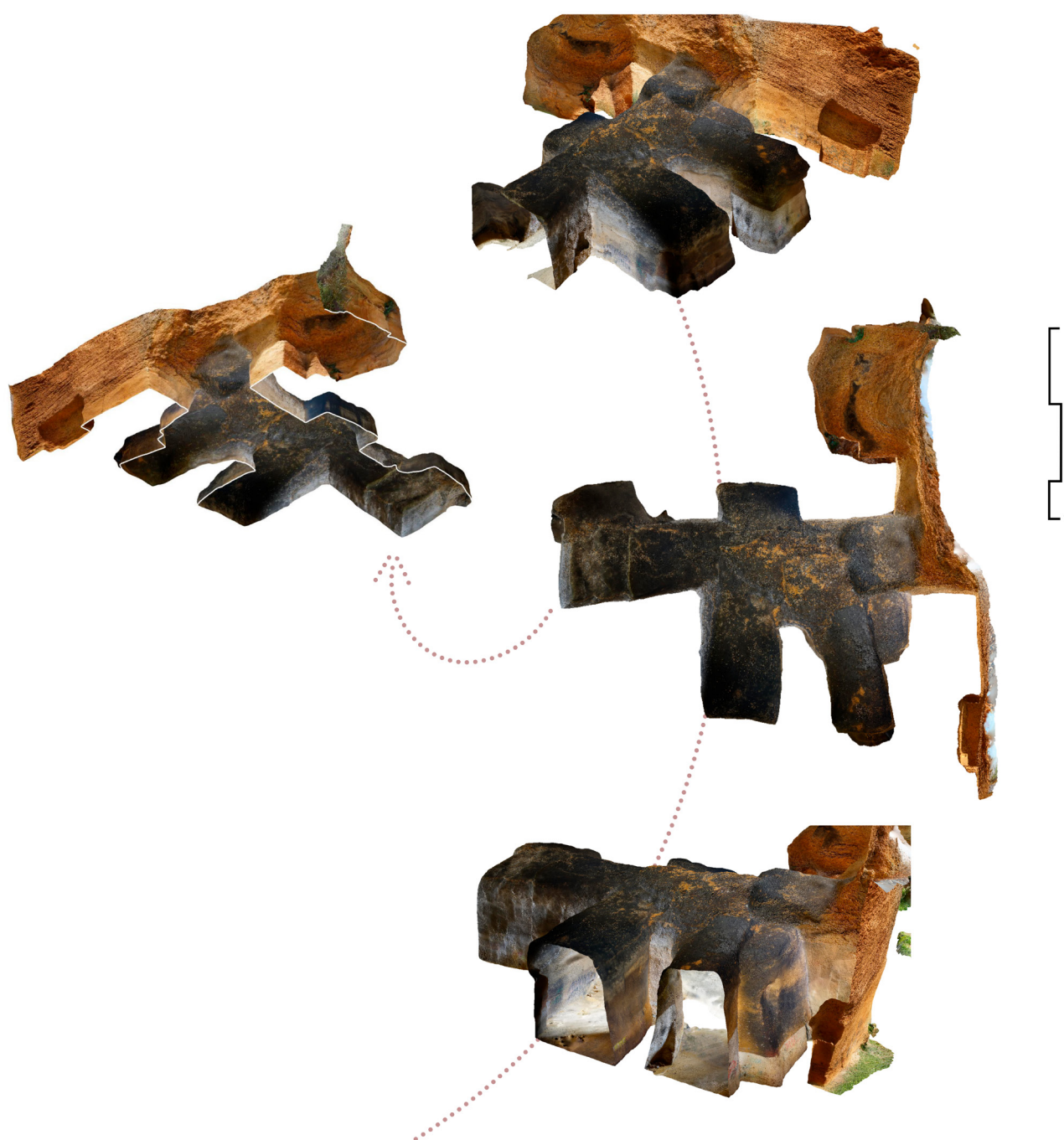


Figura 11. Resultado de la fase 2. Colección de vistas de la malla texturizada generada a partir del levantamiento fotogramétrico. Cueva de Antón Gallego. Elaboración propia.

exterior es suficientemente grande para iluminar con luz natural el interior. Aunque se produce una iluminación irregular que desciende hacia el fondo, esta diferencia de iluminación es asumible y no afecta en el procesamiento de las imágenes.

Se utiliza una cámara Sony ILCE-7RM3 con trípode y un objetivo Sigma 24-70 mm, realizándose las cap-

turas con una resolución de 42 megapíxeles, apertura $f/2,8$, velocidad de obturación $1/160s$ e ISO 800. Para el procesamiento fotogramétrico de las tomas se, utiliza el *software* Agisoft Metashape versión 1.7.1. Obteniéndose 229995 puntos de paso, una nube de puntos densa de 3758473 puntos y un modelo final de malla texturizada optimizada de 751694 caras.

3.2. Resultados del análisis

3.2.1. La lógica del proceso extractivo y sus huellas

Los objetivos de esta investigación no solo buscan realizar una documentación gráfica pormenorizada de un bien patrimonial a partir de nubes de punto, sino que trata identificar y analizar la información que ha quedado depositada en sus paramentos, partiendo de la experiencia de trabajos similares anteriores (Corrao *et al.* 2021; D'Agostino *et al.* 2022; Guida *et al.* s. f.; Zlot y Bosse 2014). En esta aportación avanzaremos sobre la lectura arqueológica.

La siguiente fase es la de identificar y entender cómo se produjo el proceso de extracción de material de la cantera.

Para ello, diferenciaremos dos ejes complementarios de desarrollo en el tiempo. El primero de carácter natural, resultado de las acciones de origen geológicas, que defi-

niremos en sentido vertical. El segundo de origen antrópico que se desarrollan en sentido horizontal. Ambas se combinan para dar como resultado esta cavidad y reflejan los saberes del oficio de la cantería extractiva.

Si hacemos referencia a la estratigrafía geológica, observamos como en la parte superior de la cavidad la masa pétreo tiene un aspecto más poroso y granuloso, que se diferencia con claridad de la parte inferior de aspecto más compacto. Entre ambos se identifica una interfaz o frontera regular en sentido descendente hacia el fondo de la cavidad. Se forman así dos regiones resultado de un proceso sedimentario: la superior de aspecto poroso y homogéneo; la inferior de aspecto más compacto donde se encuentran situadas numerosas huellas resultado de la impronta de las herramientas, el señalamiento de propiedad o derechos de extracción mediante símbolos y epígrafes. Sobre ambas se producen efectos de otras acciones posteriores destinadas a habitar la cavidad como refugio, como es el caso de los ennegrecidos de las superficies por el humo, las pintadas y grafitis contemporáneos.

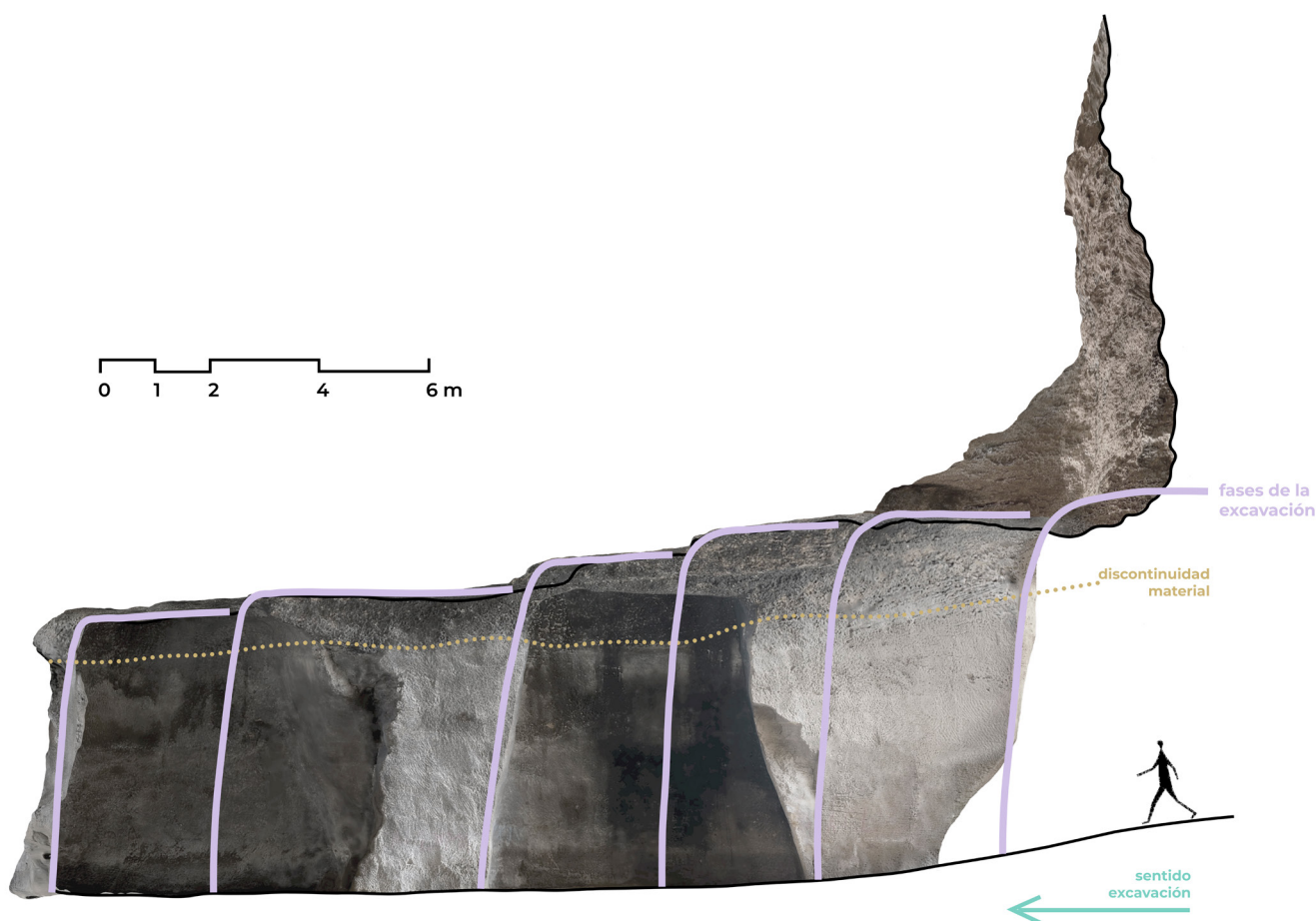


Figura 12. Identificación de las distintas fases de excavación a partir de los cambios de altura del techo. Sección longitudinal elaborada a partir de la ortofoto de la nube de puntos generada. En morado las fases de la excavación, en amarillo el cambio de porosidad de la roca. Elaboración propia.



Figura 13. Análisis del avance del proceso de extracción de la cantera, según la identificación las marcas y diferencia de alturas del techo a partir de la ortofoto cenital de la cueva se traza la composición geométrica simplificada de cada una de las naves. (a) resumen de las fases y avances de la excavación en función de las cotas del techo. (b) identificación de los cambios de alturas del techo sobre la ortofoto de la planta especular del techo de la cueva. (c) diagrama de las fases y direcciones de la explotación, así como análisis geométrico de los espacios generados. Elaboración propia

Si aludimos a la estratigrafía resultado de la acción antrópica, observamos huellas de acciones que se producen con una lógica inversa a la estratigrafía de los procesos constructivos convencionales. Es decir, las naves que se han excavado en primer lugar son las que están en la parte exterior del yacimiento y consecuentemente según avanza la extracción de material se van generando espacios de datación posterior. Las galerías más antiguas van dando acceso a las nuevas, creándose una jerarquía de naves concatenadas.

Fruto de las distintas fases de explotación de la cantera, se genera una galería principal perpendicular al corte vertical exterior de la peña, de la que surgen 4 galerías de profundidad variable, pero de sección transversal similar. Como se aprecia en la figura 12, sobre una sección vertical longitudinal de la cavidad, se observa un proceso extractivo por campañas que van profundizando en la ladera, descendiendo su altura levemente, condicionado por la línea de frontera que marca el cambio en las características del material. Sobre esta línea la extracción forma una superficie orgánica, de desocupación de material. Una vez alcanzamos la región interior donde el material es más compacto, se aprecian huellas de extracción marcando líneas bastante horizontales, que pasaremos a analizar en el siguiente apartado.

En planta, el espacio se conforma mediante una nave central perpendicular a la ladera, y otras transversales de diferente profundidad. Todas estas naves presentan unas características similares en anchura debido a que la capacidad portante del propio terreno, que depende directamente de la densidad y porosidad de la roca, permite una luz que oscilan entre los 3 y 6 m. Otro rasgo común es el aspecto de sus paramentos verticales y horizontales, lo que indica un proceso extractivo homogéneo, que resumimos en la imagen siguiente (Fig. 13).

Además de la nave central y las cuatro ramificaciones laterales, existen en la cara exterior de la ladera, dos nuevas entradas aledañas, a izquierda y derecha, que tuvieron distinta fortuna. Por su posición y orientación —si observamos la planta de la cavidad— parecen buscar el encuentro con las dos ramificaciones primeras, seguramente para facilitar el proceso extractivo mediante la duplicidad de entradas. En la que se encuentra a la izquierda de la entrada a la nave central, ha quedado paralizado el proceso que podemos describir del siguiente modo:

1. Formación de un plano vertical regular.
2. Extracción del material pétreo del estrato superior de material más poroso en forma de arco de descarga, en

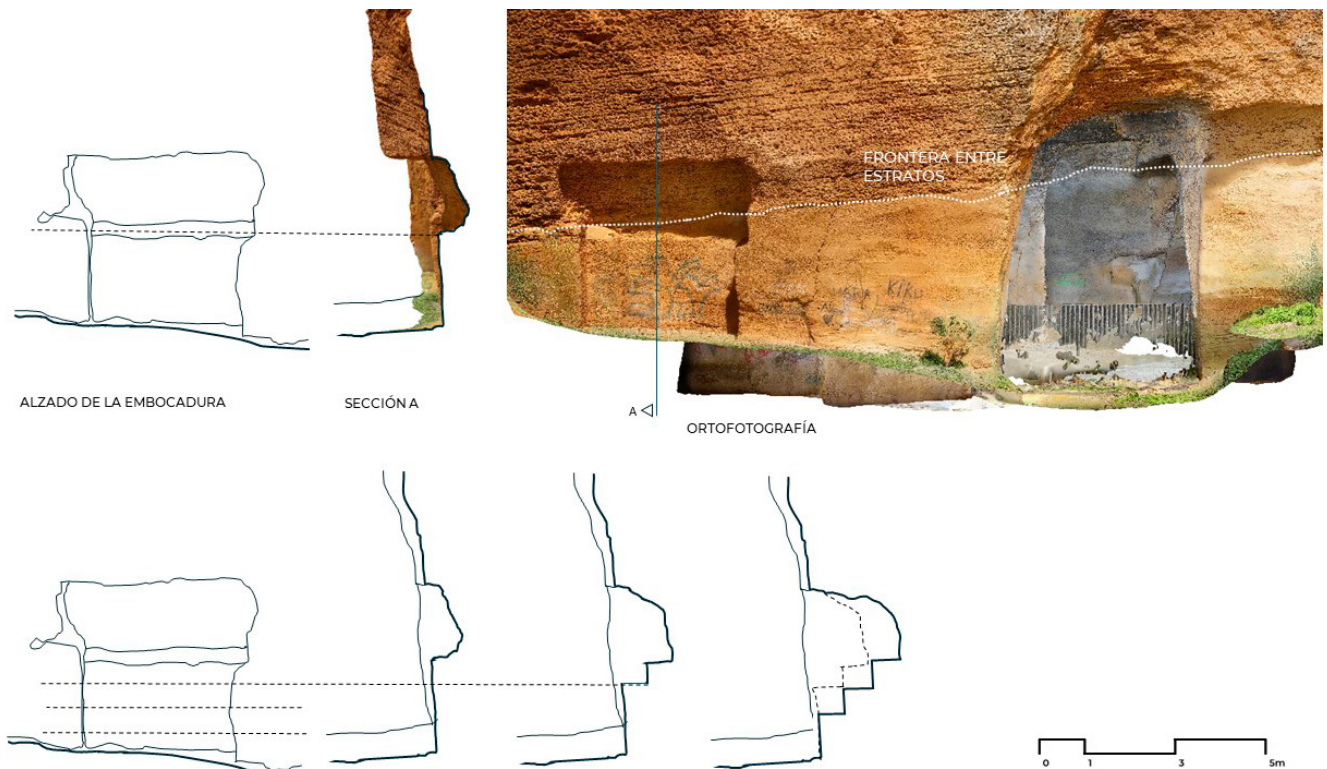


Figura 14. Esquema en sección y alzado del proceso extractivo. Elaboración propia.

cuya parte inferior se obtiene un plano horizontal con la profundidad del sillar a extraer.

3. Extracción de sillares por hiladas, desde la parte superior a la inferior.
4. A medida que se van rebajando hiladas, se extraen los siguientes en profundidad, formando una grada que facilita su accesibilidad.

3.2.2. Sistema extractivo de los bloques

La extracción de los sillares de piedra arenisca de las canteras suele realizarse mediante posturas. Las posturas son planos que se van haciendo al terreno, tanto verticales como horizontales, para facilitar el corte y acarreo de los bloques. Estas posturas se suelen hacer desde el punto más alto hacia el más bajo de la excavación. Así se va descubriendo la piedra y se progresa buscando el corazón de la cantera. El corazón de la cantera es aquella parte en la que la piedra es más pura y sana, es decir, es más homogénea.

Como ya hemos indicado, la excavación en cuevas suele producirse en la parte más baja de la cantera, una vez que la extracción en superficie ha agotado sus posibilidades, formando un valle en el terreno. Este tipo de excavación se practica para evitar el soleamiento de la piedra y que quede curtida por los agentes externos, afectadas por sales, el agua y el viento.

La extracción de los bloques de piedra sana a partir de lo expuesto en el apartado anterior se suele hacer por parejos, es decir, creando dos caras planas y escuadrados, una vez encontrada la postura que muestra la arenisca de mejor calidad, en este caso en el plano vertical (Fig. 15).

A escuadra con estos se labran las cabezas o planos verticales laterales con escodas hasta profundizar para

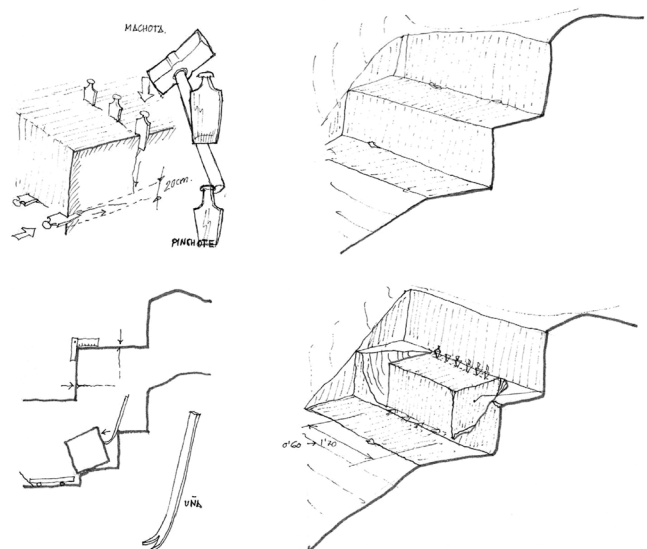


Figura 15. Sistema de extracción de bloque de piedra en cantera. Elaboración propia.

dejar los planos medianamente lisos. La distancia entre las cabezas en el caso que tratamos, en el periodo temporal atribuido a la cueva estudiada, suele estar entre 60 y 170 cm, aunque la huella de estos anchos es la que menos se aprecia en las paredes de la cueva. Esta última operación hace necesario desechar parte de material para obtener los planos verticales y horizontales.

Para separar el bloque de la postura se clavan alineados los pinchotes planos, adecuados para este tipo de piedra. Hay otros trapezoidales que se usan para las piedras más duras. Casi siempre se prevé que la rotura que va a producir el plano formado por los pinchotes puede inclinarse, dejando un margen aproximado de 20 cm, dependiendo de la horizontalidad y homogeneidad de los estratos de la piedra. Una vez presentados o clavados todos los pinchotes se martillean simultáneamente hasta que salta la piedra. El sillar se desplaza por una gradilla y se montan en zorrilas o plataformas horizontales para su transporte hasta la boca de la cueva, donde espera un carro.

A las dimensiones de los sillares que vemos colocados en las obras de aparejo isódomo hay que sumarle

estos anchos necesarios para la extracción, además de las pérdidas que se pueden producir por desportillados en el transporte. Las huellas de las hiladas que se observan en el caso estudiado son de 70 cm de altura, lo que obliga a que los sillares finales colocados en obra no puedan superar los 35 a 40 cm de altura.

Las dimensiones de los sillares extraídos y especialmente la altura son mayores que los de la tipología común denominada como *sillares sevillanos* a los que se le atribuye unas dimensiones de 31 cm de ancho, 55 de largo y 33 de alto. Identificándose que los sillares de la iglesia de Santa María tienen unas dimensiones de 40 cm de ancho, 80 de largo y 30 de alto.

Las herramientas necesarias para este proceso extractivo son variadas, y ayudan a explicar la textura de estos materiales tanto en la cantera como en la obra de edificación. La denominación de herramientas y técnicas de extracción que se enumeran a continuación son locales (Fig. 16). Estos nombres pueden variar en función de la región.

Para entender las dimensiones que encontramos en la cantera debemos considerar la pérdida de material que se produce hasta su colocación en obra. Por un lado, los márgenes citados en la extracción de unos 20 cm, y posteriormente, los desbroces necesarios para obtener los planos de lechos y contralechos de las hiladas (Fig. 17). Esto supone que, para un sillar de 35 a 40 cm de altura, se precisan extraer bloques de 70 o más cm de altura.

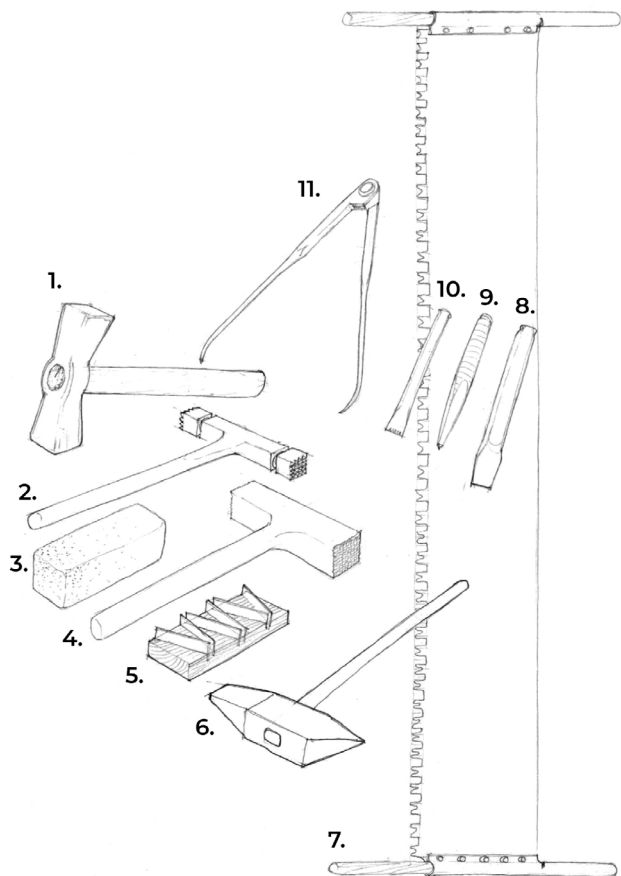


Figura 16. Herramientas del cantero sacador y cantero de obra. (1) Machota. (2 y 4) Cucardas (3) Rascoño. (5) Cepillo. (6) Escoda. (7) Serrote. (8 y 10) Cinceles. (9) Punta. (11) Compás. Elaboración propia.

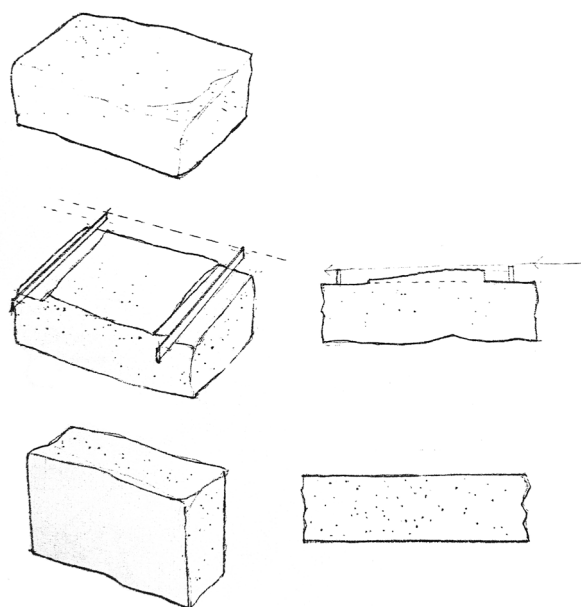


Figura 17. Labra en la obra del bloque para obtener un sillar. Elaboración propia.



Figura 18. Ortofoto de la superficie texturizada detallada a partir de la fotogrametría. Se han marcado las líneas horizontales de la extracción de sillares. Elaboración propia.

3.2.3. La extracción de material, aproximación gráfica

El siguiente objetivo es conocer el volumen aproximado de material extraído (Di Bartolo y Salvini 2019). El volumen de material aprovechable para la extracción de sillares de la cantera bajo rasante está limitado físicamente por dos capas bien diferenciadas (Fig. 18) Por una parte, el estrato superior de roca porosa y poco consistente. Este material puede servir como material de relleno, pero en ningún caso tiene la densidad y consistencia suficiente para despiezarlo y extraerlo como sillar. Por otra parte, se encuentra la capa del suelo, actualmente es una superficie prácticamente horizontal, pero se trata de una capa de rellenos posterior, sin poderse identificar la base originaria de la cantera. Entre ambos estratos, el superior a la frontera antes descrita, y el suelo arenoso con rellenos posteriores, encontramos el estrato de material útil. Con estos límites, el volumen total aproximado de material constructivo en forma de sillares extraídos es de 2000 m³. En este estrato intermedio se observan las huellas de las hiladas extraídas (Fig. 19).

La utilización de un modelo tridimensional de sólidos sin textura y de color neutro como el de la figura anterior (Fig. 19), permite identificar con mayor facilidad alteraciones geométricas de la superficie de los paramentos. Se identifica la repetición de un patrón en las marcas que generaron la extracción de los sillares respecto a las medidas de las hiladas horizontales, observándose que la dimensión vertical más repetida es de 70 cm. Se identifica en la mayor parte de la cueva que los distintos estratos y cambios de densidad no son capas completamente horizontales, sino que presenta una direccionalidad oblicua, esto influye en el proceso extractivo y hace que conforme avance la excavación, al ir descendiendo el estrato aprovechable, también va bajando la cota superior de las naves, motivo por el que se identifican en el techo cambio de alturas.

A partir del volumen capaz obtenido y de las dimensiones de las huellas de los sillares identificadas tras la lectura de los paramentos (Fig. 18), se realiza una aproximación gráfica del cubicaje del material extraído y una cuantificación del número de sillares. Se toma como dimensiones de referencia de las piezas extraídas 120 cm de largo, 70 de ancho y 70 de

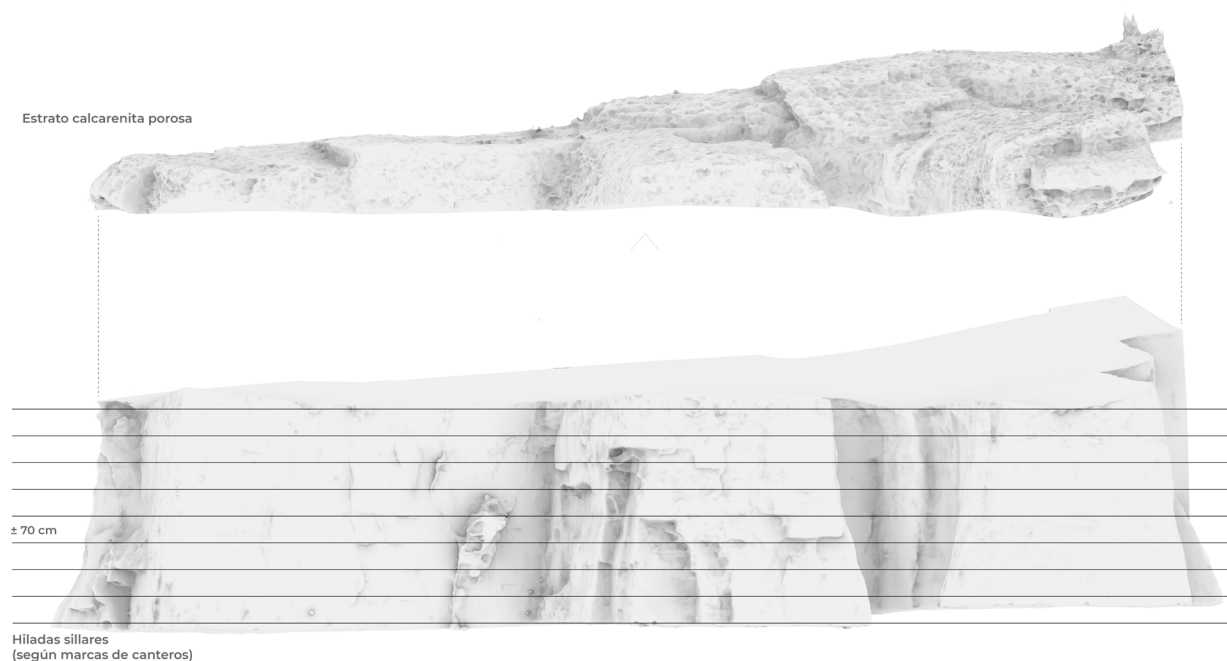


Figura 19. Volumen del material extraído de la cantera, distinguiéndose el volumen capaz de material canteable (inferior) y del material de baja consistencia (superior). Modelo de sólidos elaborado a partir de levantamiento tridimensional realizado mediante escáner láser y nube de puntos de alta resolución. Vista del volumen capaz del material extraído, creándose un modelo de llenos y vacíos inverso. Interpretándose este volumen extraído como sólido y el material que permanece y crea actualmente el volumen de la cueva como vacío. Elaboración propia.

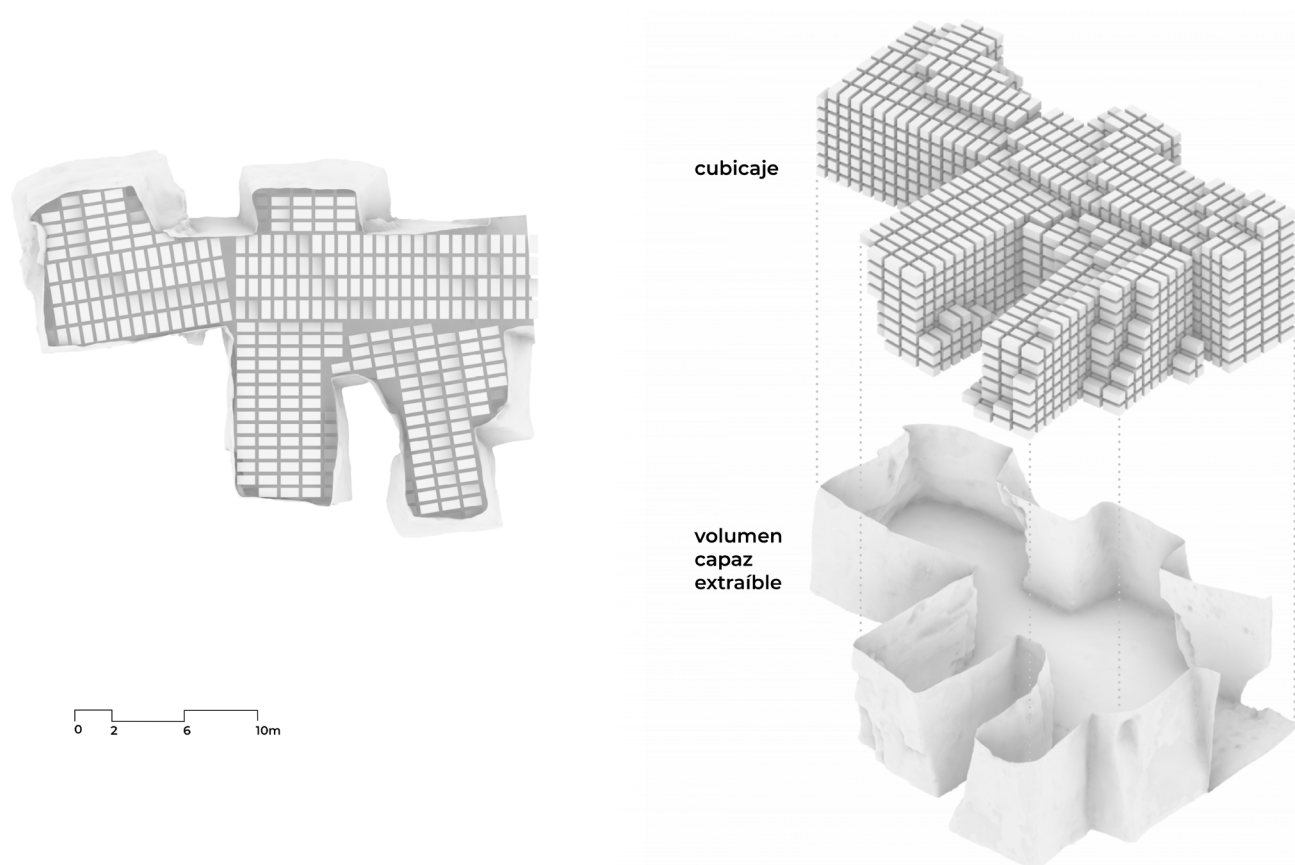


Figura 20. Cubicaje del volumen canteable. planta y vista axonométrica extruida. Elaboración propia.

alto. Estas dimensiones son las identificadas en los paramentos, por lo que para obtener las dimensiones de los bloques extraídos hay que restarle las zanjadas realizadas para arrancar los bloques, que como se ha descrito anteriormente esta merma es de aproximadamente 10 cm por cada cara del bloque, obteniéndose unas dimensiones resultantes de los sillares extraídos de 100 cm de largo, 50 de alto y 50 de ancho. Con esta modulación, se va realizando el cubicaje.

Para hacer una hipótesis de cubicaje más aproximada se tienen en cuenta las direcciones de excavación analizadas en la figura 13, las piezas se colocan con la dimensión del ancho en la dirección de la excavación en cada caso como se puede apreciar en la planta de la siguiente figura (Fig. 20). El cubicaje da como resultado 2800 posibles sillares, que multiplicado por el volumen de cada bloque ($0,25 \text{ m}^3$), se extraen 700 m^3 de sillares, un 35 % del volumen capaz de material extraíble de la cueva, sin contar la capa superior de roca de baja densidad no canteable.

4. MODELO FÍSICO INTERPRETATIVO A DISTINTAS ESCALAS. UTILIDAD PARA LA LECTURA DE PARAMENTOS DE LA CUEVA

Como muestran las figuras anteriores, el levantamiento ha permitido editar tantas proyecciones ortogonales como han sido necesarias para poder representar el aspecto de los paramentos de la cavidad, y poder medir y dibujar sobre ellos a escala. Pero esta aportación pretende ir un paso más allá, pues este tipo de proyección es difícil de interpretar espacialmente solo con el uso de las proyecciones diédricas. Por esta razón, se ha tratado de elaborar un producto resultante de estos levantamientos que permitan trabajar con las tres dimensiones, trascendiendo lo visual para introducirnos en una percepción táctil de las superficies (Galera-Rodríguez *et al.* 2023). Aprovechando la nube de puntos de alta definición generadas, se realizan una serie de modelos físicos interpretativos a distintas escalas y niveles de definición con técnicas de fabricación digital (Fig. 21).

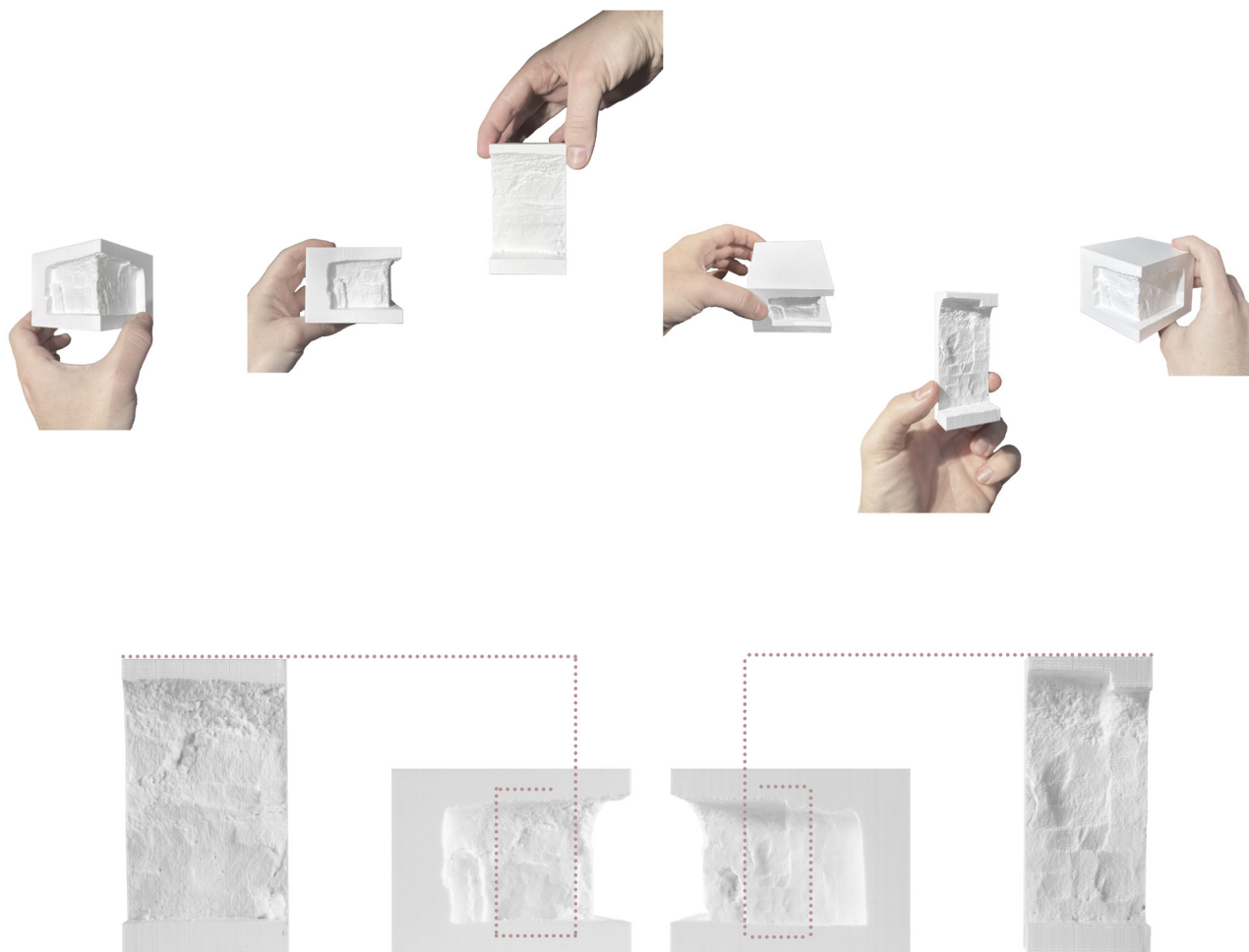
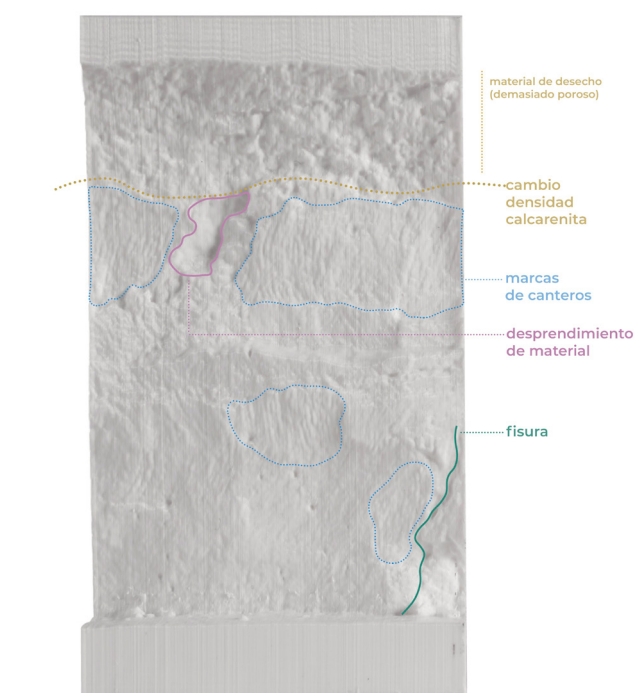
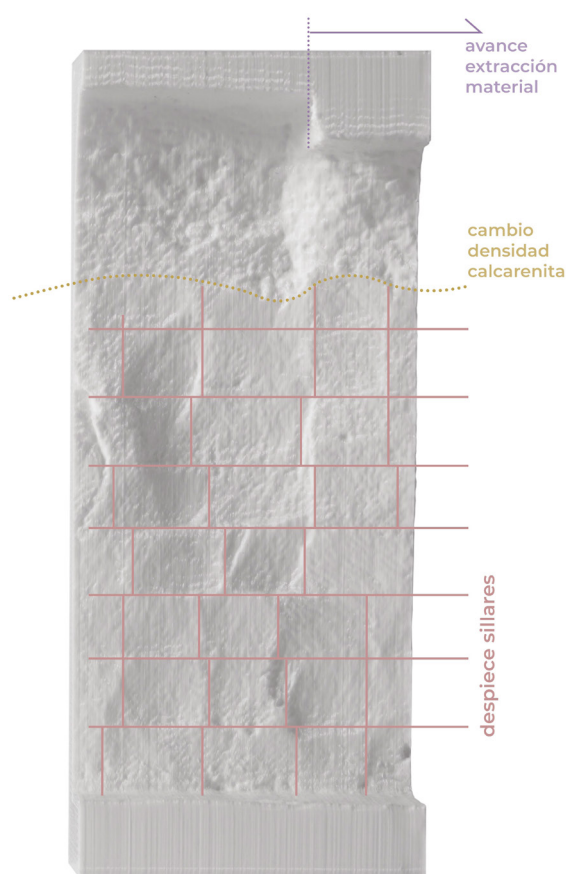


Figura 21. Exploración táctil y visual de los distintos modelos físicos creados mediante fabricación digital. Elaboración propia.



22a



22b

Figura 22. Lectura de los paramentos de la cueva y de su información patrimonial mediante piezas fabricadas mediante impresión 3d de alta precisión. Elaboración propia.

A partir de una exploración táctil y visual se puede entender la lógica de la extracción, identificándose entre otros datos las dimensiones de los sillares extraídos, los cambios de densidades de la calcarenita, las marcas de canteros o alteraciones sufridas en la piedra como desprendimientos de material o fisuras.

Las muestras han sido fabricadas mediante técnicas de impresión 3D con espesor de capa 0,1 mm y a escala 1:200 para la pieza del sector y a 1:100 la pieza de detalle. En este caso tras haber inspeccionado la cueva en su conjunto, se han considerado representativos estos dos fragmentos de paramentos ya que presentan información de distinta índole como ejemplo.

En la primera pieza (Fig. 22a) se identifica un cambio evidente de densidad de la roca calcarenita, la parte superior pertenece a un estrato poroso mientras que el resto es de una densidad adecuada para utilizarla como sillares, estos dos estratos se presentan en la nave excavada en proporción 1/5 generalmente. Además, se aprecian las marcas de los canteros, realizadas con las herramientas de extracción de los distintos fragmentos de piedra, lo que permite además intuir la dirección de excavación y avance. También se pueden apreciar transformaciones de los paramentos como son fisuras de la roca y zonas donde se han producido desprendimientos, ambas acciones se repiten en diversos puntos de la cueva.

En la segunda pieza (Fig. 22b) se evidencian las marcas del proceso de extracción, lo que permite hacer una estimación de las dimensiones de los sillares. Se observa que las líneas horizontales se mantienen al igual que las dimensiones son similares, lo que hace indicar que el proceso de extracción se hizo de arriba a abajo, extrayendo cada una de las hiladas completas y sucesivamente se iba descendiendo en la excavación, este proceso se iba repitiendo en cada una de las naves, produciendo cambios de cotas evidentes en el techo.

Llama la atención las dimensiones considerables de los sillares en relación con los tamaños habituales en otras canteras de la época. Tienen un largo entre 70 y 120 cm y un alto entre 60 y 70 cm, el ancho no se puede comprobar ya que ni en el suelo ni en los paramentos transversales del yacimiento se aprecian marcas de la extracción.

Toda esta información patrimonial que se puede observar y tocar en los modelos físicos a su vez ha sido recogida en plataformas web de gestión de la información patrimonial a partir de la anotación semántica de datos sobre nubes de puntos. Acciones de documentación y puesta en valor del UBH desarrolladas en líneas de investigación transversales a este trabajo (Galera-Rodríguez *et al.* 2024).

CONCLUSIONES

Este trabajo propone un planteamiento metodológico multidisciplinar adaptado a la tipología UBH que permita mejorar las estrategias de conocimiento y salvaguarda de este patrimonio. Esta metodología está basada en distintas fases y en un planteamiento multidisciplinar. El proceso de trabajo parte del primer estadio de la tutela patrimonial, el conocimiento. En primer lugar, conocer el estado actual del caso, realizando un estudio cronológico, así como su caracterización geológica y de entorno. En segundo lugar, realizando un levantamiento tridimensional mediante nube de puntos que permita describir gráficamente la espacialidad y resuelva las limitaciones de los levantamientos bidireccionales cuando se quieren representar superficies de geometría compleja. En tercer lugar, el análisis estratigráfico, en el que destaca la peculiaridad de tratarse de un proceso extractivo. Por último, planteando una serie de modelos interpretativos que permitan describir pormenorizadamente y de forma detallada y exhaustiva la información patrimonial del elemento. Para ello se han utilizado distintas técnicas gráficas, desde la identificación espacial y material mediante ortofotos de la nube de puntos, a la fabricación de piezas físicas mediante impresión 3D para obtener complementariamente una experiencia táctil e inmersiva. Esta etapa de difusión final mediante uso de modelos físicos en 3D favorecen además el intercambio de información patrimonial pudiéndose ubicar en centros de interpretación, museos, o simplemente servir de apoyo al trabajo de gabinete de arqueología.

El objeto resultante, esto es, la cavidad o la estructura subterránea difiere de un objeto arquitectónico, en tanto y en cuanto, su configuración final es resultado de un proceso en el que los actores, canteros sacadores, van tomando decisiones respecto a lo que van encontrando a medida que penetran en el terreno. Decisiones que tienen unas pautas fijas de comportamiento que no determinan el resultado final, sino la lógica de su conformación: la manera de extraer el material, los anchos en función de las características de la piedra y el terreno, la accesibilidad para el desarrollo de los trabajos de extracción y acarreo, la identificación de marcas de explotación y propiedad, etc.

La cantera forma, junto al resto de inmuebles reconocidos como patrimonio, una enorme red de relaciones, junto a caminos, embarcaderos, puentes, grúas, etc. El entendimiento de edificios como la gran iglesia prioral

de la ciudad de Carmona, por ejemplo, no puede completarse sin estas piezas generalmente olvidadas, constituyendo un paisaje cultural de gran riqueza, que ha dado lugar en buena medida a la identidad de nuestras poblaciones y sus entornos. Sin embargo, este patrimonio subterráneo está generalmente oculto, degradado, o en muchos casos desconocidos. Entendíamos que era necesario explorar recursos que faciliten su conocimiento y su adecuada difusión.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Excmo. Ayuntamiento de Carmona su predisposición y voluntad permitiendo el estudio de este bien patrimonial. Esta investigación se ha desarrollado bajo el amparo del *Convenio específico de cooperación científica y técnica entre el Excmo. Ayuntamiento de Carmona y la Universidad de Sevilla* para el estudio de los espacios subterráneos patrimoniales de la ciudad de Carmona.

Los autores agradecen a su vez al laboratorio de fabricación digital FABLAB de la Universidad de Sevilla por su colaboración en la elaboración de los distintos modelos físicos que aparecen en este artículo.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

Los/as autores/as de este artículo declaran no tener conflictos de intereses financieros, profesionales o personales que pudieran haber influido de manera inapropiada en este trabajo.

FUENTES DE FINANCIACIÓN

Esta investigación ha sido financiada por el *Programa de Ayudas FPU* del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (FPU19/05432). También está financiada por el Ministerio de Ciencia e Innovación a través del proyecto nacional I+D TALLER-DR: *El maestro Diego de Riaño y su taller de cantería, arquitectura y ornamento en el contexto de la transición al renacimiento en el sur de Europa*. PID2020-114971GB-I00.

DECLARACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Andrés Galera-Rodríguez: conceptualización, obtención de fondos, investigación, metodología, supervisión, visualización, redacción – borrador original, redacción – revisión y edición.

Rocío Anglada-Curado: conceptualización, investigación, metodología, recursos, redacción – borrador original, redacción – revisión y edición.

Francisco Pinto-Puerto: análisis formal, obtención de fondos, investigación, validación.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, E., Spettu, F. y Fiorillo, F. 2022: “A procedure to import a complex geometry model of a heritage building into BIM for advanced architectural representations”, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 46 (2/W1-2022), pp. 9-16. <https://doi.org/10.5194/ISPRS-ARCHIVES-XLVI-2-W1-2022-9-2022>
- Alessandri, L., Baiocchi, V., Del Pizzo, S., Di Ciaccio, F., Onori, M., Rolfo, M. F. y Troisi, S. 2020: “The fusion of external and internal 3D photogrammetric models as a tool to investigate the ancient human cave interaction: the La Sassa case study”, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 43 (B2), pp. 1443-1450. <https://doi.org/10.5194/ISPRS-ARCHIVES-XLI-II-B2-2020-1443-2020>
- Amores Carredano, F. 1982: *Carta arqueológica de los Alcores (Sevilla)*. Diputación Provincial de Sevilla, Sevilla.
- Ampliato Briones, A. L. y Rodríguez Estévez, J. C. 2017: *La obra gótica de Santa María de Carmona: arquitectura y ciudad en la transición a la Edad Moderna*. Editorial Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Angulo Fornos, R. 2013: “La fotogrametría digital: una herramienta para la recuperación de arquitecturas perdidas. Torre del Homenaje del Castillo de Constantina”, *Virtual Archaeology Review*, 4 (8), pp. 140-144. <https://doi.org/10.4995/VAR.2013.4355>
- Benavides López, J. A., Martín Civantos, J. M. y Rouco Collazo, J. 2020: “Levantamiento arquitectónico y análisis arqueológico del castillo de Piñar como punto de partida para su conservación”, *Virtual Archaeology Review*, 11 (22), pp. 95-115. <https://doi.org/10.4995/var.2020.12397>
- Bermúdez Cano, R., Alcalá Ortiz, A. y Ruiz-Ruano Cobo, F. 2017: “Peñatejada: Una cavidad artificial única de la «Hispania romana»”, *Gota a Gota*, 13, pp. 20-28.
- Casares, J. y Lapesa Melgar, R. 1993: *Diccionario histórico de la lengua española*. Real Academia Española, Madrid.
- Castro Fernández, J. L., Buzón Román, M., Castro Fernández, J. y Domínguez Valencia, R. 2001: *El mihrab de la Batida. Descubriendo Carmona*. Universidad de Sevilla, Carmona.
- Centarti, L., Ferreyra, C., Guida, C. G., Limongiello, M. y Messina, B. 2024: “Documentation and management of complex 3D morphologies through digital technology”, *Acta IMEKO*, 13 (2), pp. 1-7. <https://doi.org/10.21014/ACTAIMEKO.V13I2.1845>
- Clini, P., Nespeca, R., Angeloni, R. y Mammoli, R. 2019: “The integrated survey of narrow spaces and underground architecture: the case study of Campana Caves bas-reliefs”, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W9 (2/W9), pp. 277-282. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-277-2019>
- Conlin Hayes, E. 2001: “El abastecimiento de agua en la Carmona romana”, en A. Caballos Rufino (ed.), *Carmona romana*, pp. 203-217. Ayuntamiento de Carmona / Editorial Universidad de Sevilla, Carmona / Sevilla.
- Corominas, J. y Pascual, J. A. 2002: *Diccionario crítico etimológico castellano e hispánico*. Gredos, Madrid
- Corrao, R., Di Paola, F., Termini, D. y Vinci, C. 2021: “Investigation of the underground building heritage and the mechanism of water flowing in Qanāts in Palermo through innovative surveying techniques”, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 46 (M-1-2021), pp. 147-154. <https://doi.org/10.5194/ISPRS-ARCHIVES-XLVI-M-1-2021-147-2021>
- D’Agostino, G., Figuera, M., Russo, G., Galizia, M. y Militello, P. M. 2022: “Integrated 3D survey for the documentation and visualization of a rock-cut underground built heritage”, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVI-2/W1-, pp. 167-174. <https://doi.org/10.5194/ISPRS-ARCHIVES-XLVI-2-W1-2022-167-2022>
- Di Bartolo, S. y Salvini, R. 2019: “Multitemporal Terrestrial Laser Scanning for Marble Extraction Assessment in an Underground Quarry of the Apuan Alps (Italy)”, *Sensors*, 19 (450). <https://doi.org/10.3390/s19030450>
- Fuentes Pardo, J. M. y Guerrero, I. C. 2006: “Subterranean wine cellars of Central-Spain (Ribera de Duero): An underground built heritage to preserve”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 21 (5), pp. 475-484. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2005.07.004>
- Galera-Rodríguez, A., Angulo-Fornos, R. y Algarín-Comino, M. 2022: “Survey and 3D modelling of underground heritage spaces with complex geometry: surface optimisation for association with HBIM methodology”, *SCIRES-IT - SCientific RESearch and Information Technology*, 12 (1), pp. 177-190. <https://doi.org/10.2423/122394303V12N1P177>
- Galera-Rodríguez, A., Ficarelli, L. y Conte, A. 2023: “Experimental interpretative model of excavated hydric architecture of Matera city (Italy)”, *Disegnarecon*, 16 (31), 17-1-17.11. <https://doi.org/10.20365/DISEGNARECON.31.2023>
- Galera-Rodríguez, A., Guéna, F. y Algarín-Comino, M. 2024: “Ontology and collaborative data annotation for the standardisation of documentation processes of underground heritage spaces”, *Journal of Cultural Heritage*, 68, pp. 225-236. <https://doi.org/10.1016/J.CULHER.2024.06.003>
- Germinario, L., Oguchi, C. T., Tamura, Y., Ahn, S. y Ogawa, M. 2020: “Taya Caves, a Buddhist marvel hidden in underground Japan: stone properties, deterioration, and environmental setting”, *Heritage Science*, 8 (1). <https://doi.org/10.1186/s40494-020-00433-9>
- Guida, A., Pagliuca, A. y Bixio, A. s. f.: “Survey with 3D laser scanner as a tool for knowledge: analysis of case studies”, en *2nd International Conference on Art & Archaeology*. Jerusalén.
- Gutiérrez Deza, M. I., Moreno-Almenara, M. y Penco Valenzuela, F. 2004: “Dos canteras romanas en galería en Colonia Patricia Corduba: Peñatejada y Santa Ana de la Albaida”, *Anales de Arqueología Cordobesa*, 15, pp. 229-248. <http://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/3598>
- Hernández Díaz, J., Sancho Corbacho, A. y Collantes de Terán Delorme, F. 1943: *Catálogo arqueológico y artístico de la provincia de Sevilla*. Diputación Provincial de Sevilla, Sevilla.
- Herrero Fernández, H., García Tulegón, J., Justo, Á., Pérez Rodríguez, J. L. y Íñigo, A. C. 2008: “La Calcarenit de Carmona. Cueva de la Batida: estratigrafía, mineralogía y sistema poral”, *Cardel: Carmona. Revista de estudios locales*, 6. <https://digital.csic.es/handle/10261/17144>
- López Amador, J. J. y Ruiz Gil, J. A. 2007: “Las cueva-canteras de la Sierra de San Cristóbal en el Puerto de Santa María, Cádiz”, en A. Jiménez Martín (Ed.), *Simposium Internacional sobre la Catedral de Sevilla en el contexto del gótico final*, pp. 115-127. Cabildo Metropolitano, Sevilla.

- Luca, L. de y Abergel, V. 2022: “Vers des biens communs numériques pour construire des cathédrales de données et de connaissances pluridisciplinaires sur le patrimoine européen”, *Culture et recherche*, 142. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03626568>
- Memorias - Sociedad Arqueológica de Carmona. 1887: La Verdad, Carmona.
- Millán-Millán, P. M. 2021: “Investigaciones en el proyecto de restauración de la antigua sala capitular y panteón del monasterio de Santa Clara de la Columna de Belalcázar (Córdoba)”, *Arqueología de la Arquitectura*, 18, e121. <https://doi.org/10.3989/ARQ.ARQT.2021.013>
- Miura Andrades, J. M. 1997: “Beatas, eremitas y monasterios de Carmona”, *Archivo hispalense: Revista histórica, literaria y artística*, 80 (243-245), pp. 565-582. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2505000>
- Naranjo Redondo, E. 2021: *Arquitectura en negativo: las canteras de la Sierra de San Cristóbal*. Trabajo fin de grado, Universidad de Sevilla. <hdl.handle.net/11441/128697>
- Orche Amará, P., Millán Naranjo, J. y Román Rodríguez, J. M. 2018: “Las minas de agua de los alcores sevillanos: unas monumentales obras hidráulicas subterráneas de época romana que empiezan a salir a la luz”, en F. J. Sánchez Jiménez (coord.), *II Congreso Internacional de Patrimonio Industrial y de la Obra Pública Patrimonio Industrial: pasado, presente y futuro*, pp. 378-394. Junta de Andalucía y Fundación Patrimonio Industrial de Andalucía, Sevilla.
- Orihuela, A. y Vilchez, C. 1987: “Aljibes públicos de la Granada musulmana”, en *Actas del II Congreso de Arqueología Medieval Española*, Vol. III, pp. 231-237. Madrid. https://digital.csic.es/bitstream/10261/17024/1/1987_ALJIBES_PUBLICOS_02.pdf
- Pinto Puerto, F., Guerrero Vega, J. M., Angulo Fornos, R. y Castellano Román, M. 2021: “Estrategias para un modelo digital dirigido al conocimiento y gestión del Conjunto Arqueológico de Itálica. Cuaderno de bitácora”, *EGE Revista de Expresión Gráfica en la Edificación*, 15, pp. 61-83. <https://doi.org/10.4995/EGE.2021.16796>
- Rodríguez Estévez, J. C. 1998: *Los canteros de la catedral de Sevilla: del Gótico al Renacimiento*. Diputación Provincial de Sevilla, Área de Cultura y Ecología, Sevilla.
- Rodríguez González, P., Nocerino, E., Menna, F., Minto, S. y Remondino, F. 2015: “3D Surveying and modeling of underground passages in WWI fortifications”, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 40 (5W4). <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-17-2015>
- Ubierna, J. A. J. 1998: “Tunnel Heritage in Spain: Roots of the Underground”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 13 (2), pp. 131-141. [https://doi.org/10.1016/s0886-7798\(98\)00040-6](https://doi.org/10.1016/s0886-7798(98)00040-6)
- Valls, A., García, F., Ramírez, M. y Benlloch, J. 2015: “Understanding subterranean grain storage heritage in the Mediterranean region: The Valencian silos (Spain)”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 50, pp. 178-188. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2015.07.003>
- Varriale, R. 2021: “‘Underground Built Heritage’: A Theoretical Approach for the Definition of an International Class”, *Heritage*, 4 (3), pp. 1092-1118. <https://doi.org/10.3390/HERITAGE4030061>
- Zlot, R. y Bosse, M. 2014: “Three-dimensional mobile mapping of caves”, *Journal of Cave and Karst Studies*, 76 (3), pp. 191-206. <https://doi.org/10.4311/2012EX0287>