

Artículo de Investigación

La digitalización de la bidimensionalidad de las pinturas rupestres para crear obras tridimensionales mediante la impresión 3D

The digitization of the two-dimensionality of cave paintings to create three-dimensional works through 3D printing

Bartolomé Palazón Cascales: Universidad de Zaragoza, España.

palazon@unizar.es

Fecha de Recepción: 13/07/2024

Fecha de Aceptación: 14/09/2024

Fecha de Publicación: 04/02/2025

Cómo citar el artículo:

Palazón Cascales, B. (2025). La digitalización de la bidimensionalidad de las pinturas rupestres para crear obras tridimensionales mediante la impresión 3D [The digitization of the two-dimensionality of cave paintings to create three-dimensional works through 3D printing]. *European Public & Social Innovation Review*, 10, 1-18. <https://doi.org/10.31637/epsir-2025-1469>

Resumen:

Introducción: Esta investigación se enfoca en los resultados obtenidos a través de la creación e interpretación de formas rupestres femeninas inscritas en la roca mediante impresión 3D. Se seleccionaron pinturas rupestres del Abrigo I del Barranco de los Grajos (Cieza, Murcia) para realizar el estudio. **Metodología:** El proceso comenzó con la elaboración manual de prototipos escultóricos, seguido de la digitalización de las obras y la impresión de los resultados mediante tecnología 3D. Este estudio explora el vínculo entre la tecnología y la creatividad en la creación artística, con el objetivo de generar un archivo digital de las obras rupestres. **Resultados:** El estudio permitió ir más allá de la simple copia digital de las pinturas rupestres, creando interpretaciones en 3D de las figuras planas inscritas en la roca, lo que ofrece nuevas perspectivas sobre este legado cultural. **Discusión y conclusiones:** Se concluye que la digitalización e impresión 3D no solo facilita la conservación y reproducción de las pinturas rupestres, sino que también permite la generación de nuevas obras inspiradas en estos elementos, ampliando nuestra comprensión del arte prehistórico.

Palabras clave: Impresión 3D; Escultura; Arte Rupestre; Digitalización; Arte Contemporáneo; Imagen; Forma; Memoria.

Abstract:

Introduction: This research focuses on the results obtained through the creation and interpretation of female rock art forms inscribed on rock, using 3D printing. The study selected rock paintings from Abrigo I at Barranco de los Grajos (Cieza, Murcia). **Methodology:** The process began with the manual creation of sculptural prototypes, followed by the digitization of the works, and ultimately, 3D printing of the results. This study explores the connection between technology and creativity in artistic creation, aiming to generate a digital archive of the inscribed rock works. **Results:** The study went beyond the simple digital reproduction of rock paintings, creating 3D interpretations of the flat figures inscribed on rock, offering new perspectives on this cultural heritage. **Discussion and Conclusions:** It is concluded that 3D digitization and printing not only facilitate the preservation and reproduction of rock paintings but also allow for the creation of new works inspired by these elements, expanding our understanding of prehistoric art.

Keywords: 3D printing; Sculpture; Rock Art; Digitization; Contemporary Art; Image; Shape; Memory.

1. Introducción

Durante los últimos años los avances tecnológicos en materia de modelado e impresión 3D han tenido un gran impacto en las artes. En este sentido, las técnicas digitales de creación de imágenes han supuesto un gran progreso respecto a antiguos métodos tradicionales de registro de arte rupestre. Sin dejar atrás los calcos directos de las pinturas planas en la roca, hoy son muchos los progresos en cuanto a la metodología y técnicas de obtención de dichas representaciones gracias a programas informáticos de tratamiento de la imagen.

En el presente estudio se abordarán aspectos clave de la revolución tecnológica que supone la impresión 3D en los sistemas de documentación, estudio y análisis, diagnóstico de conservación e, incluso, métodos de divulgación cultural y artística del arte rupestre del levante español. Así mismo, centra sus esfuerzos en mostrar los resultados obtenidos en cuanto a la creación e interpretación, a través de la impresión 3D, de las pinturas rupestres inscritas en la roca que ahora salen del muro y se muestran en todas sus dimensiones. Es decir, gracias a la creación artística se extraen las figuras de la roca y se generan nuevas obras a partir de estas, a través de la escultura. Con lo cual, y como finalidad de este proyecto, se dota de una tercera dimensión a estas pinturas parietales.

Con todo este proceso de investigación y creación artística se extrae que todos estos avances informáticos empleados aquí nos permiten conocer, descubrir e interpretar a través de la creación artística y la escultura digital las pinturas rupestres de estilo levantino objeto de este estudio.

1.1. Nuevas tecnologías para la difusión del arte rupestre

Son muchos los estudios que abordan las aplicaciones de los avances tecnológicos en la documentación, estudio y análisis del arte rupestre. La tecnología del escaneado 3D se abrió camino hace años en diferentes ámbitos como sanidad, urbanismo, aeronáutica, automoción, medicina, moda, joyería, construcción, videojuegos, cine o sectores de alimentación y farmacia, entre otros. Se trata, por tanto, de un tipo de herramienta que se emplea para escanear y registrar todo tipo de superficies, para más adelante, y después de un proceso digital, generar una representación de las mismas en tres dimensiones.

Arqueólogos e investigadores del arte rupestre cada vez más están empleando la tecnología de escáneres 3D y fotogrametría para llevar a cabo sus estudios de las pinturas parietales. El auge de estas tecnologías en este sector se debe a la gran nitidez de las imágenes obtenidas tras el escáner o fotogrametría, ya que las primeras imágenes que se conocen de la mayoría de las pinturas rupestres objeto de este estudio se han obtenido mediante tradicionales calcos. Gracias a todas estas nuevas implementaciones tecnológicas los investigadores son capaces de reconocer fácilmente nuevas figuras dibujadas en la piedra, puesto que en su mayoría se muestran muy desgastadas por el paso del tiempo (Cecilia, 2014).

Entre sus múltiples aplicaciones, nos interesan particularmente las posibilidades que ofrece en el estudio de las pinturas rupestres del periodo levantino. Estos procedimientos reducen la subjetividad de los calcos tradicionales. Debemos tener en cuenta que hasta que se empieza a usar la cámara fotográfica, el calco es la pieza fundamental del trabajo documental del arte rupestre. Estos calcos nos ofrecían la percepción subjetiva de los investigadores, ya que muchos de ellos podían calificar numerosas representaciones de animales en los abrigos. De esta forma, se observa que no se trata de un sistema de reproducción muy preciso. La aparición de la fotografía digital en color supuso un avance importante en la documentación del arte rupestre, pues facilitaba llevar a cabo diferentes técnicas de manipulación y retoques con multitud de aplicaciones informáticas (Cacho y Gálvez, 1997).

En este sentido, el uso de la fotografía es fundamental en cualquier estudio de arte rupestre. Y las técnicas digitales de manipulación fotográfica permiten al investigador avanzar un paso más, facilitándole el trabajo de observación y definición, pues se incide mucho en optimizar la imagen, corregir también los posibles errores producidos durante la exposición (iluminación, contraste, encuadre o perspectiva), o alterar, en su caso, determinados parámetros que mejoran la visión de la pintura (Cacho y Gálvez, 1997). Con todo lo expuesto, la fotografía digital ha puesto a disposición de investigadores de arte rupestre de una herramienta más fácil de trabajar que el escaneado original analógico, es decir, se trata de una tecnología más fiable que los calcos sobre la roca.

Si se pretende buscar un buen registro de la tridimensionalidad se debe hacer uso de programas de retoque fotográfico, como *Adobe Photoshop*, que posibilitan la mejora o la corrección de posibles distorsiones de las imágenes fotográficas realizadas (Mark y Billo, 2006). Ahora bien, los medios para alcanzar la reproducción tridimensional de las pinturas rupestres son varios: escáner láser o escáner de luz estructurada, y fotogrametría de objeto. En este sentido, un estudio sobre la documentación de pinturas rupestres a través de una aplicación de escáner 3D argumenta que:

El empleo de técnicas de adquisición de datos procedentes de la ingeniería, como el escáner 3D o la fotogrametría, para su aplicación en el proceso de documentación del Patrimonio Cultural se viene produciendo desde hace décadas, con excelentes resultados y un innegable salto cualitativo, proporcionando información mucho más precisa que la que ofrecían los métodos tradicionales, agilizando notablemente el proceso de adquisición de datos. (Tejerina *et al.*, 2012, p. 64)

En otros estudios ya nos detuvimos en explicar pormenorizadamente el paso a paso del proceso de fotogrametría. Aquí citaremos brevemente en qué consiste y, además, incluimos una breve descripción del escaneo láser como método de registro y documentación para la posterior impresión 3D.

El escaneado de una superficie que alberga arte rupestre (estación rupestre) se puede hacer tanto con un láser o con fotogrametría. Estos diferentes procedimientos también se pueden combinar para la realización de una documentación que abarque todo el espacio que alberga o solo el abrigo en cuestión. Ambos procedimientos amplían oportunidades para el estudio del arte rupestre. La fotogrametría se basa en la utilización de múltiples fotografías digitales procedentes de cualquier tipo de cámara digital (una cámara fotografía, un *smartphone*, etc.) que, tras procesarlas en un software especializado (*Metashape*, por ejemplo), se deduce la posición espacial de los puntos homólogos que los algoritmos de procesamiento identifican entre todas las imágenes (Ruiz, 2019, p. 348-349). Por su lado, los escáneres láser permiten capturar millones de puntos de datos de un objeto o espacio físico. Esta técnica posibilita la creación de una representación digital más precisa. No obstante, muchas de estas herramientas, por su elevado coste o la necesidad de personal especializado en la materia, no permiten una clara inversión en este tipo de proyectos y, es posible, que muchas no estén al alcance de los investigadores, pese a que son de gran ayuda para la toma de datos de los grafismos en la roca (Cecilia, 2014).

La fotogrametría se ha beneficiado de un importante avance y una creciente popularidad entre arqueólogos, arquitectos, investigadores o conservadores de patrimonio cultural. Este hecho se debe, principalmente, a que la inversión necesaria para disponer de una estación de trabajo de fotogrametría es notablemente inferior a la que se debe afrontar con la adquisición de un escáner 3D.

Pese a todos los avances tecnológicos, y siguiendo la argumentación de Juan F. Ruiz López, doctor en Historia, especialista en Prehistoria y miembro del Laboratorio de Arqueología, Patrimonio y Tecnologías emergentes de la Universidad de Castilla-La Mancha, “una fotografía digital no deja de ser una proyección sobre un plano, por lo que la posibilidad de reproducir a partir de ella un volumen complejo y tridimensional no se alcanzaba todavía” (Ruiz, 2019). De ahí que esta investigación se centre en generar volumen y tridimensionalidad a las figuras planas, todo ello mediante la unión de la creación artística y la impresión 3D.

1.2. Qué es la impresión 3D

Para finalizar esta introducción, incluimos aquí, a grandes rasgos, en qué consiste la impresión 3D, puesto que será de gran ayuda para el lector una vez se expongan los casos prácticos llevados a cabo a través de esta tecnología.

La impresión 3D (*3D printing*) se define como un conjunto de tecnologías de fabricación aditiva en las que el modelo resultante se crea por deposición de material capa a capa a partir de un modelo 3D virtual. Algunas impresoras depositan el material tras su calentamiento (FDM), otras lo funden (SLS). La forma en la que se deposita el material es la que define el tipo de tecnología de impresión 3D (Gómez, 2016).

Actualmente son muchos los sectores que emplean la impresión 3D en su currículo (sectores de alimentación, farmacia, aeronáutica, cine, moda o joyería, entre otros). Por su lado, y desde hace ya algunos años, también es empleado en patrimonio cultural o en el ámbito de las Bellas Artes. Como, por ejemplo, el proyecto artístico Unseen Art, que genera modelos tridimensionales 3D de obras de arte para invidentes; o como ayuda al patrimonio arquitectónico que emplea la impresión 3D para diseñar y construir la Sagrada Familia; así como muchas otras aplicaciones en el mundo del arte (Gómez, 2016).

1.2.1. *Proceso de impresión 3D*

Como indicábamos líneas arriba, la impresión 3D es un conjunto muy amplio de fabricación aditiva. Es decir, se trata de un proceso mediante el cual se va añadiendo material poco a poco para fabricar un objeto tridimensional. Esta tecnología es muy accesible, bastante económica y con un mantenimiento y uso de la máquina muy bajo comparado con el resto de las tecnologías.

Para llevar a cabo un proceso de impresión es necesario saber qué tipos de impresoras 3D existen actualmente en el mercado. Por un lado, tenemos las impresoras de tipo SLA (resina) y, por otro, las impresoras FDM (filamento). Para nuestra investigación vamos a hacer uso de las impresoras de filamento. A continuación, se detallan las características de este tipo de impresoras, así como los principales materiales.

Lo más importante de una impresora es la estructura de metal, que aporta mucha rigidez, ya que cuando esté en funcionamiento no dejará de estar en movimiento. Las impresoras 3D funcionan normalmente con 3 ejes: el eje X, que se mueve de izquierda a derecha (suele llevar el cabezal); el eje Y (delante-atrás), que suele llevar la base en la que se imprime el objeto; y el eje Z, que va de abajo a arriba y suele coincidir con el eje X.

Otra parte muy importante de la impresora 3D es el sistema de extrusión. En la parte superior de la impresora se coloca una bobina, donde pueden emplearse diferentes materiales y/o colores de filamento, el cual se introduce en la impresora con un motor que tiene una pequeña rueda que empuja el filamento hacia delante o hacia atrás. Seguidamente pasa por un tubo blanco hasta llegar al sistema de extrusión. Aquí es donde el filamento se funde con una resistencia a una temperatura de unos 200 grados más o menos, y sale por debajo siendo un hilo muy, muy fino, y se deposita sobre la cama caliente.

Después de la extrusión lo más importante es la electrónica que se encuentra debajo, segura y bien custodiada. La impresora 3D se comunica con el ordenador mediante una tarjeta *micro SD*. En dicha tarjeta se introducen los archivos y, finalmente, tenemos la pantalla y un botón del que controlar todo: desde comenzar la impresión, pausar, cambiar el material, e incluso calentar o enfriar el extrusor (ver Figura 1).

Figura 1.

Partes de una impresora 3D de filamento



Fuente: Elaboración propia (2024).

En cuanto a los materiales que se utilizan en las impresoras de filamento, destacamos los siguientes: ABS, que se emplea en el salpicadero de los coches; PETG, presente en las botellas de plástico; o PLA, material más sencillo de adquirir y que está presente en los cubiertos de plástico. La impresión de PLA es una impresión fácil, que requiere de una temperatura muy baja. Se puede postprocesar y pintar fácilmente, y es la que emplearemos en los proyectos que se presentarán más adelante.

Debemos tener presente siempre que durante el proceso de generación de modelos 3D aparecen claramente diferenciadas dos fases: la primera de ellas dedicada a la captura de la información, mediante el uso de sistemas de digitalización 3D como los que hemos descrito anteriormente; y una segunda fase que se centra en el procesado de la información obtenida, con el objetivo final de generar un modelo 3D definitivo (Díaz *et al.*, 2015).

Gracias a estas aplicaciones informáticas, tanto los procesos previos de obtención de imágenes (fotogrametría o escáner laser), las aplicaciones digitales de procesamiento (como *Metashape*) o las diferentes impresoras 3D a las que podemos tener acceso actualmente, ha sido posible la materialización de este proyecto de investigación, que tiene como uno de sus principales objetivos obtener la tridimensionalidad de las formas femeninas del Abrigo I del Barranco de los Grajos (Cieza, Murcia) mediante la impresión 3D como nueva fórmula de expresión escultórica. Todo ello sin dejar de generar una buena copia digital de las pinturas rupestres como método de protección y archivo documental debido al deterioro de los agentes medioambientales, entre otras causas, que sufre gran parte del arte rupestre.

2. Metodología

Antes de iniciar la metodología llevada a cabo en la investigación centrada en la búsqueda de la tercera dimensión de las pinturas rupestres del Abrigo I del Barranco de los Grajos de Cieza (Murcia), es necesario realizar una descripción de las pinturas rupestres que lo componen. Posteriormente, también se llevará a cabo una minuciosa descripción tanto del trabajo de

documentación previa, como de la elaboración manual de los prototipos, y finalmente su tratamiento digital y posterior impresión a través de la tecnología 3D.

Del Abrigo I del Barranco de los Grajos disponemos de calcos de sus pinturas gracias a A. Beltrán Martínez, realizados unos pocos años después de su descubrimiento, así como las fotografías que posteriormente se han ido realizando. En palabras de Javier Cecilia Espinosa (2014), “son esos calcos, así como algunas fotografías posteriores, los que han trascendido para el estudio de estas pinturas” (pp. 544-545). Para nuestro estudio hemos acotado la selección de formas a nueve figuras, entre ocho formas femeninas y un elemento que pudiera representar el fuego o un árbol), que forman parte de este abrigo rupestre. En cuanto a las interpretaciones existentes de estas pinturas, la escena se describe como una captura ritual de un animal, en la que una veintena de hombres y mujeres, repartidos en varios grupos, participan en dicha escena (Mateo, 2016). Otros investigadores lo han documentado como una danza ritual.

La metodología empleada en el proceso ha implicado el planteamiento y desarrollo de distintas fases:

1. Ver las obras *in situ*, visualizar los calcos y la documentación de las mismas. Se inicia la toma de datos sobre las formaciones rocosas.
2. Llevar a cabo una comparación con los calcos existentes de otros estudios científicos para ver su grado de deterioro y conservación, similitudes y diferencias.
3. Generar la interpretación artística tridimensional a través de la escultura manual. Una vez ejecutados los dos pasos previos, se genera el volumen tridimensional de dichas figuras de forma tradicional.
4. Digitalizar las obras resultantes a través de la técnica de fotogrametría y escáner láser. Tras su digitalización, conseguimos los primeros volúmenes tridimensionales en formato digital.
5. Retocar mediante programas de edición de imágenes 3D. Continuamos con los archivos obtenidos a través de la digitalización de las pinturas rupestres y se trabaja con programas de diseño y modelado digital (*Zbrush, Blender, etc.*), que nos permiten transformar la mancha, el símbolo de la mujer, y darle una tercera dimensión.
6. Imprimir en 3D las obras resultantes con filamento *PLA RECYCLED* (PLA reciclado). De esta forma, generamos unos cuerpos animados, resultado obtenido de la combinación del modelado tradicional y el modelado digital. Estos cuerpos tridimensionales nos permiten conocer todavía más cómo era la anatomía y los atributos de representación de la mujer primitiva. Los resultados de esta interpretación artística final se obtienen mediante la impresión 3D con materiales biodegradables.
7. Mostrar los resultados a la comunidad científica y difundir los resultados mediante exposiciones abiertas al público.

A continuación, se especifica el equipamiento y los materiales utilizados para llevar a cabo todas las fases implicadas en la metodología desarrollada:

- Cámara fotográfica *SONY Alpha 7*:

Tamaño del sensor: Full-Frame (35,80 x 23,90 mm)

Megapíxeles: 24,3 MP

Proporciones: 3:2

Puntos de enfoque: 117

Rango de sensibilidades ISO: 100-25.600

Formatos de imagen: JPEG, RAW

- Escáner 3D Shining 3D EINSCAN-SP
 - Escáner a color con tecnología de luz blanca
 - Resolución: 0,05 mm
 - Área de escaneo más pequeña: 30 x 30 x 30 mm
 - Área de escaneo más grande de 200 x 200 x 200 mm (tocadiscos) y 1200 x 1200 x 1200 mm (escaneo/trípode)
 - Velocidad de escaneo < 1 min
 - Escaneo de pantalla única < 4 segundos
 - Distancia de puntos de 0,17 a 0,2 mm
 - Resolución de cámara de 1,3 megapíxeles
 - Carga del tocadiscos 5 kg
 - Formatos de archivo: OBJ, STL, ASC, PLY

- Impresora 3D Creality CR-10 V3
 - Tecnología de impresión 3D: FDM/FFF
 - Volumen de impresión 3D: 30 x 30 x 40 cm
 - Placa electrónica V2.4.1 (más de 200 horas de impresión seguidas)
 - Diámetro de la boquilla: 0,4 mm
 - Espesor de capa: 0.1 - 0.4 mm
 - Estructura: perfil de aluminio lacado en negro
 - Velocidad de impresión: hasta 180mm/s (velocidad estándar 30-60 mm/s)
 - Nivelación: manual
 - Sensor de filamento para evitar impresiones fallidas
 - Materiales: PLA, ABS, WOOD, TPU, PET-G, FIBRA DE CARBONO, etc.
 - Temperatura de extrusor: hasta 260 °C
 - Cama caliente: hasta 100 °C
 - Pantalla LCD
 - Potencia total: 24V 360W
 - Precisión: aprox. 0.1 mm
 - Extrusión directa: direct drive titan
 - Formato: STL, OBJ, G-CODE, JPG

- Filamentos *PLA RECYCLED WHITE* y *PLA RECYCLED RED* de excelentes propiedades mecánicas y gran calidad en impresión 3D. Distribuidor: Smart Materials 3D
 - 100% reciclado
 - Biodegradable (compostable)
 - Mayor resistencia mecánica con respecto a PLA virgen
 - Mayor rango de temperatura de impresión de 190°C a 220°C
 - Mayor fluidez

Finalmente, y gracias a esta metodología, se ha podido seguir gradualmente la generación de las diferentes formas 3D de las pinturas rupestres objeto de este estudio. El planteamiento y desarrollo de las diferentes fases de este proyecto nos ha facilitado llevar a la práctica este procedimiento e ir paso a paso hasta generar los volúmenes. Otros estudios podrán plantearse de diferentes formas, en nuestro caso queda patente en los resultados cómo queríamos conseguir la tridimensionalidad de las pinturas rupestres.

3. Resultados

Llegados a este punto, es importante señalar el vínculo que se establece entre la tecnología y la creatividad en la creación artística. Se podría decir que se está abriendo un nuevo capítulo en la historia del arte donde no existen barreras entre lo real y lo imaginado. En este sentido, la impresión 3D gana la partida a cualquier otra herramienta digital por su transformación revolucionaria de la conceptualización y creación de obras de los artistas actuales.

Gracias a la impresión 3D los artistas pueden dar vida a ideas que, hasta hace relativamente poco, parecían imposibles de materializar (ya sea por la falta de recursos o por limitaciones físicas). Se trata de un procedimiento que se ha abierto camino en multitud de sectores y que ha hecho que los artistas y profesionales del arte se sumerjan en este nuevo mundo creativo.

Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo hacer uso de la digitalización e impresión 3D para generar un archivo digital de las obras planas inscritas en la roca. Pero no sólo para dejar un archivo en la nube de las pinturas rupestres, sino para materializar también unas piezas únicas realizadas a través de la interpretación artística y la escultura manual, que pasarán a digitalizarse posteriormente. Es una forma de extraer y dar volumen a cada una de esas figuras planas inscritas en la roca.

Atrás quedan los tradicionales calcos y la fotografía digital aplicada al arte rupestre, pues como se ve reflejado en el trabajo de documentación presentado en la revista *Cuadernos de arte rupestre*, con el título *Reflexiones sobre técnicas de documentación digital del arte rupestre: la restitución bidimensional (2D) versus la tridimensional (3D)*:

La reproducción del arte rupestre es un tema recurrente en la investigación arqueológica ya que durante más de un siglo calcos y fotografías han constituido la principal herramienta para demostrar la existencia del arte rupestre, para facilitar su estudio, gestión y difusión, o para analizar y evaluar su estado de conservación. (Domingo *et al.*, 2013, p. 22)

Si bien, el valor del registro gráfico que realizamos en esta investigación va incluso más allá. Se trabaja claramente por dotar a esas figuras de vida a través de la tridimensionalidad que nos aporta la tecnología 3D. No como una mera copia, sino como otra obra más resultante del análisis de estas figuras características del arte rupestre del periodo levantino.

Las obras escogidas para este estudio, parte de las figuras que integran el Abrigo I del Barranco de los Grajos de Cieza (Murcia), han sido previamente tratadas de forma manual para dotarlas de unas características volumétricas únicas. Una vez realizada la interpretación escultórica de cada una de ellas, se ha procedido a digitalizarlas y/o reconstruidas digitalmente (dependiendo de cada caso) mediante diferentes programas de modelado 3D para su posterior impresión, y obtener así una interpretación escultórica de las mismas que nos muestra cómo pudo ser el modelo real de estas figuras que sus creadores generaron en la roca.

Con lo cual, y sintetizando un poco nuestro trabajo, para llevar a cabo esta interpretación escultórica a través de la impresión 3D de las formas femeninas de estos grafismos, se han trabajado los modelos tridimensionales de manera tradicional, para su posterior digitalización mediante la utilización de escáner láser o procedimientos fotogramétricos a partir de múltiples imágenes. Así mismo, se ha revisado la documentación previa con los calcos bidimensionales, obtenidos mediante retoque digital de imágenes fotográficas, que facilita la identificación de motivos. Todos estos pasos seguidos en la elaboración de este proyecto se detallan en el siguiente apartado, donde se muestran los resultados en impresión 3D.

3.1. La impresión 3D como medio de expresión artística a través de las pinturas rupestres del Abrigo I del Barranco de los Grajos (Cieza, Murcia)

Entre las muchas aplicaciones de desarrollo técnico en torno al Arte Rupestre Prehistórico, el cual estamos trabajando y analizando desde hace ya cuatro años, optamos por las tecnologías de impresión 3D, bien asentadas a día de hoy. Gracias a estas herramientas ha sido posible la materialización de este proyecto de investigación que pretende dotar de vida, volumen y tridimensionalidad las formas planas inscritas en la roca.

Debe quedar claro que esto no se trata de una nueva técnica de calco, sino que pretendemos obtener la visión artística de cómo serían las figuras representadas en la roca de forma tridimensional. Es decir, veremos su visión estereométrica y volumétrica. Por tanto, la impresión resultante no será plana, sino que intentaremos extraer de las formas y dibujos su posible realidad en tres dimensiones.

Para llevar a cabo la ejecución de este proyecto, fue necesaria una formación previa en digitalización e impresión 3D. Gracias a las investigaciones realizadas por el Grupo de Investigación TEBRO de la Universidad de Sevilla y a la colaboración de empresas punteras en el sector, como Ingenio Triana S.L., con sede en Sevilla, hemos podido materializar nuestro estudio. El desarrollo del proyecto se ha estructurado en las siguientes fases:

1. Documentación previa y creación manual de prototipos.

Partimos de un modelo tridimensional realizado en cera de fundición artística. Las formas modeladas en cera se basaron en la silueta de los calcos y fotografías obtenidas de las pinturas rupestres del Barranco de los Grajos (Cieza, Murcia). Cada silueta que conforma el abrigo fue extraída sobre una plancha de cera con un grosor de 0,5 mm. Una vez recortadas las nueve figuras en la plancha de cera, comenzamos el modelado tridimensional de los cuerpos femeninos, añadiendo cera sobre cada silueta hasta alcanzar el volumen deseado. Cabe destacar que el escultor aportó una visión artística, dando volumen a las figuras de manera interpretativa basándose en los calcos, fotografías y descripciones existentes. Tras el modelado en cera, se analizó el movimiento de las figuras estereométricamente para asegurar que los cuerpos estuvieran resueltos de forma óptima, respetando, en una de sus posiciones, la silueta original (ver Figura 2).

Figura 2.

Instalación de prototipos generados mediante escultura manual en cera del Abrigo I del Barranco de los Grajos de Cieza (Murcia)



Fuente: Elaboración propia (2022).

2. Generación de archivo digital.

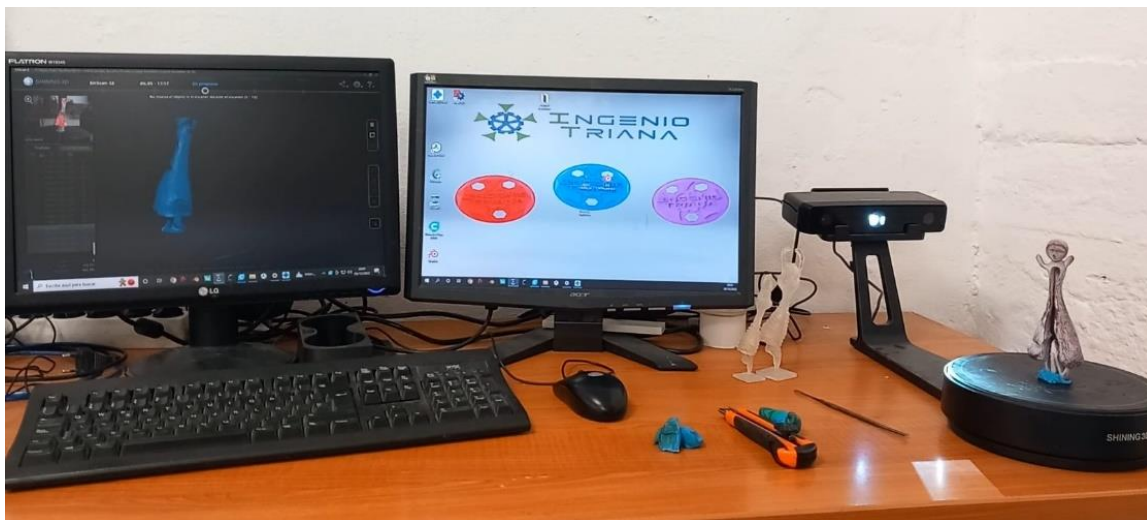
Con los prototipos en cera ya construidos, procedimos a generar un archivo digital que permitiera imprimir tantas reproducciones como fueran necesarias, y en diferentes escalas. Para lograr este archivo, se emplearon dos métodos:

Fotogrametría: Realizamos múltiples fotografías del modelo para digitalizarlo mediante programas como *Metashape*, que genera el archivo digital.

Escáner láser: Utilizamos el *Shining 3D EINSCAN-SP* en las instalaciones de Ingenio Triana S.L. Este sistema permite tomar datos mientras se genera el archivo digital de las figuras (ver Figura 3).

Figura 3.

Escaneo 3D a través de escáner láser Shining 3D EINSCAN-SP en Ingenio Triana S.L.



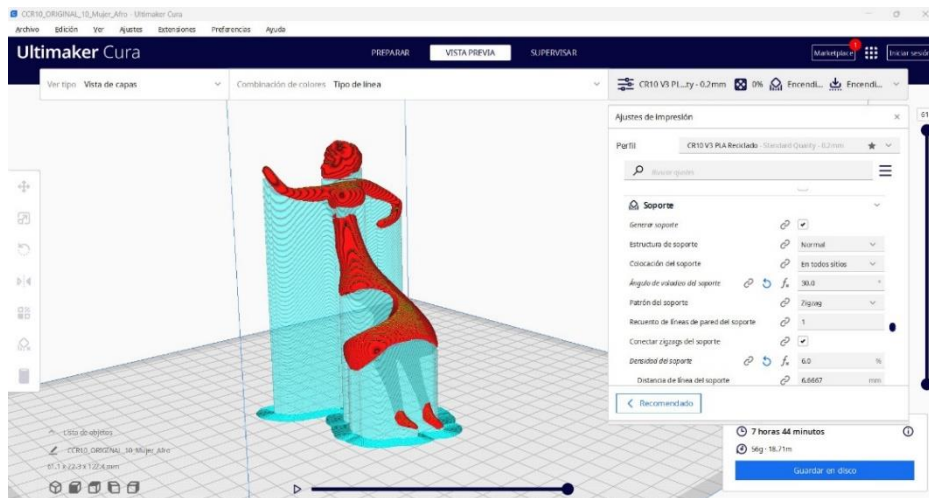
Fuente: Elaboración propia (2022).

3. Retoque y modelado digital.

Tras obtener los archivos digitales (uno por fotogrametría y otro por escáner láser), el siguiente paso fue trabajar estos archivos en programas como *Zbrush* o *Blender*. Con estas herramientas, corregimos imperfecciones y añadimos detalles que no se habían registrado en la digitalización inicial. Una vez asegurada la integridad de los modelos, se prepararon para la impresión 3D mediante un programa de laminado específico, *Ultimaker Cura*, que se utilizó para las impresoras de filamento (ver Figura 4).

Figura 4.

Proceso de laminado con estructura de soporte modo 'normal' a través del programa Ultimaker Cura



Fuente: Elaboración propia (2022).

4. Calibrado, exportación e impresión 3D.

El archivo 3D final se exportó en formato .stl y se ajustaron los valores de impresión. En este punto, también fue necesario calibrar el material utilizado para la impresión. Para la impresión final de las figuras tridimensionales, construidas a partir de las pinturas rupestres del Abrigo I del Barranco de los Grajos, se utilizó un filamento reciclado y biodegradable, *PLA RECYCLED* (en colores rojo y blanco). Este material es biodegradable debido a su origen natural (almidón de maíz, patata o caña de azúcar). Con el material calibrado y el archivo 3D preparado, se procedió a la impresión 3D de las figuras (ver Figura 5).

Figura 5.

Impresión 3D con filamento PLA RECYCLED WHITE en Creality CR-10 V3



Fuente: Elaboración propia (2022).

Finalmente, la ejecución de este proyecto nos ha aportado los siguientes resultados: Un análisis digital de imágenes que posibilita la protección y conservación del patrimonio histórico artístico como copia de seguridad y archivo; la obtención de volúmenes de las formas femeninas inscritas en la roca como datos necesarios para conocer nuestra historia y contribuir a su difusión y conservación; el estudio anatómico de las diferentes formas y cuerpos, así como los diferentes roles ejercidos por la mujer en las pinturas rupestres del levante español; y una nueva visión e interpretación artística a los grafismos de arte rupestre de estilo levantino a través de la escultura contemporánea.

4. Discusión

Como se ha podido comprobar este proyecto de investigación artística tiene como finalidad la incursión de las tecnologías digitales de impresión 3D como herramienta para generar un nuevo lenguaje expansivo de expresión artística. Si bien la implementación de la tecnología 3D abarca numerosos sectores (medicina, farmacéutica, automoción, videojuegos, cine o la conservación del Patrimonio Cultural y artístico), en nuestro estudio nos hemos centrado en su visión más artística a través de la escultura contemporánea. De igual forma, no se ha dejado atrás la cuestión de generar un archivo digital, que facilite su conservación y difusión, ya que la tecnología está al servicio del arte. Su utilidad para la “divulgación el fenómeno rupestre es evidente, y todavía lo será a más corto plazo” (Ruiz, 2019, p. 364). Pues, como se ha podido demostrar a través de las diferentes muestras expositivas y de divulgación del trabajo realizado, estas tecnologías permiten acercar todavía más el arte a un público generalista que autodescubrirá y experimentará a través de estas creaciones en 3D, cómo pudieron ser los grafismos prehistóricos en tres dimensiones.

A diferencia de todos los estudios encontrados sobre digitalización de arte rupestre, que se centran principalmente en analizar la evolución de los tradicionales calcos y fotografías, es decir, en una búsqueda de métodos que posibiliten el descubrimiento de nuevos grafismos, así como mejorar las imágenes que disponen actualmente de ellas, aquí nos adentramos en la digitalización para generar posibles interpretaciones de las figuras planas en 3D. A través de los resultados obtenidos, se abren nuevas interpretaciones a las pinturas rupestres pintadas en la roca hace miles de años, sin dejar atrás su historia. No se genera una simple copia, sino que se crean nuevas obras a partir de los grafismos existentes.

Con relación a la metodología empleada, en la que se complementan contenidos teóricos y prácticos se ha podido, en un primer momento, analizar todos los estudios existentes sobre conservación, prevención, restauración y difusión del arte rupestre a través de las tecnologías 3D. Así mismo, se entablaron conversaciones con arqueólogos e investigadores, expertos en Arte Prehistórico, que nos facilitaron mucho las cosas para poder conocer de primera mano las pinturas rupestres del Abrigo I del Barranco de los Grajos. También asistimos a seminarios y conferencias sobre el tema, donde se exponían casos prácticos relacionados con este estudio que nos acercaron todavía más al análisis de estas figuras y sus posibles interpretaciones.

Tras esta fase previa de documentación, se genera nuestra interpretación artística mediante la escultura manual. A diferencia de otros estudios que digitalizan las figuras planas directamente de la roca, nuestro estudio se ha centrado principalmente en dotar de un volumen a esas figuras. De esta forma, y al igual que ocurre con los investigadores y sus interpretaciones sobre lo que puede estar representado o no, nosotros nos hemos adentrado en dar una forma volumétrica a cada una de las figuras que componen el panel, intuyendo quién pudo ser, cómo irían vestidas, qué representarían, etc.

La toma de datos a través de escáner láser o fotogrametría fue un proceso complejo, pero muy gratificante. Una vez están todas las esculturas creadas, se digitalizaron empleando para ello la técnica fotogramétrica y el escáner láser. En relación con estos pasos, advertir que tuvimos que formarnos previamente para conocer en qué consistían dichas técnicas de digitalizado. Así mismo, la primera de ellas (la fotogrametría) ha sido la más fácil de conseguir debido a que ya disponíamos de una cámara fotográfica, cuyas especificaciones se han detallado en la metodología, que nos permitió la captura de las fotografías necesarias para procesar digitalmente las obras. Por su lado, el empleo de un escáner láser fue posible gracias a la empresa donde se realizó la formación en este ámbito. De no ser así, hubiera sido más difícil adquirir un escáner láser de forma particular, teniendo en cuenta que no se dispone de un presupuesto fijado para este proyecto. Advertimos, en este sentido, que no siempre es sencillo realizar proyectos que empleen este tipo de tecnologías debido a su alto coste y a la necesidad de contar con personal especializado. Su uso fue en un principio complejo, debido a que no disponíamos de una formación previa en este sentido. No obstante, gracias a la ayuda de profesionales del sector pudimos aprender como digitalizar mediante esta nueva técnica que todavía hoy está creciendo en el mercado. El escáner láser proporciona información mucho más precisa que la que ofrecían los métodos tradicionales, agilizando notablemente el proceso de adquisición de datos.

Referente a la edición, retoque o reconstrucción de las obras digitalizadas con los programas de diseño resultó ser uno de los procesos más mecánicos. Con ellos podemos transformar las formas inscritas en la roca y adaptarlas a lo que queremos conseguir. Dichos programas, *Zbrush* o *Blender*, son de acceso gratuito y la forma de trabajar con ellos es bastante intuitiva. No obstante, también tuvimos que dar unas nociones básicas para poder comenzar a utilizarlos.

A la hora de seleccionar el material para imprimir teníamos muy claro que queríamos que fueran materiales reciclados, biodegradables y respetuosos con el medio ambiente. Para ello, la adquisición de los consumibles fue bastante sencillo, puesto que ya hay grandes empresas distribuidoras a nivel nacional que han hecho posible que el material escogido se adaptase a nuestras necesidades. Por tanto, se optó por dos tipos de filamento *PLA RECYCLED*, de color blanco y rojo. Las pruebas previas y los resultados obtenidos en este tipo de materiales han sido satisfactorios. De cara al futuro de la investigación artística, se están desarrollando pruebas con materiales también sostenibles como el filamento *PINE*, obtenido de una matriz y una carga proveniente de la reutilización de materiales orgánicos de la madera de pino, o el filamento *SMARTFIL OYSTER*, obtenido con una base de material termoplástico y una carga proveniente de la reutilización de residuos orgánicos como es la concha de ostra triturada. Nosotros nos decantamos por la empresa Smart materials 3D, que cuenta con un departamento de I+D+I centrado en la investigación de materiales biodegradables y respetuosos con el medio ambiente, para la adquisición del material de impresión 3D, cuyo trato, servicio y envío fue muy bueno, fácil y rápido.

Es importante remarcar que el planteamiento que hay detrás de este proyecto es la obtención de formas tridimensionales de las figuras planas inscritas en la roca. Los resultados obtenidos se han mostrado a la comunidad científica mediante conferencias y artículos científicos sobre este estudio. Este impacto de las tecnologías digitales ha desbordado la esfera de la investigación científica del estudio de estos grafismos prehistóricos, de los que se comparten numerosas experiencias y se analizan los diferentes estudios de otros investigadores. Algo muy positivo que se extrae de esto es que, en su mayoría, todos comparten objetivos muy similares, ya que a través de estos nuevos dispositivos y aplicaciones se garantiza la documentación actualizada para la conservación y difusión del Arte Prehistórico.

Como se ha comprobado, las reproducciones obtenidas se asemejan en gran medida a los originales, en cuanto a textura, color y forma. No obstante, se generan nuevos volúmenes y elementos en cada una de ellas tras la libre interpretación artística llevada a cabo. Además, se han difundido los resultados a través de exposiciones abiertas al público, como la exposición colectiva celebrada en Sevilla en diciembre de 2022. La exposición de escultura contemporánea sevillana *'Dulcemente abandonadas a la orilla de la fuente'* hace alusión a las bases primigenias de la escultura como elemento disruptivo y albergó parte de las piezas que muestra los resultados de la impresión de estas obras. De esta forma, se acerca al público la historia de las pinturas rupestres del levante español. Así mismo, se da muestra de la importancia actual que tiene nuestro pasado, ya que artistas contemporáneos vuelven a tomar inspiración de los grafismos prehistóricos. Aquí una docena de esculturas impresas en 3D dialogan con otras creaciones sobre la escultura contemporánea. En este sentido, es importante señalar que artistas actuales también revisitan estas creaciones prehistóricas con una visión contemporánea. Tal es el caso de los artistas Naama Steinbock e Idan Friedman de Reddish Studio que crean piezas únicas y efímeras, a través de cobre, látex y aire, de las famosas Venus del Paleolítico. Otra muestra más de lo que los artistas contemporáneos quieren realizar: rendir un claro homenaje al arte rupestre y retrotraer aquellas figuras a un contexto más actual.

Figura 6.

Instalación 'Danza de la fertilidad I'. Esculturas impresas en 3D con filamento PLA RECYCLE RED en la exposición colectiva internacional 'Dulcemente abandonadas a la orilla de la fuente'



Fuente: Elaboración propia (2022).

5. Conclusiones

Debemos considerar que los trabajos realizados han hecho posible mejorar la visualización de abrigos rupestres a través de una visión estereométrica de las figuras planas femeninas que salen de la roca a través de la escultura digital. En este sentido, la impresión 3D en el arte ofrece un nuevo significado y demuestra que las nuevas tecnologías y la creatividad artística se pueden combinar perfectamente.

En cualquier caso, y tras el análisis de todo nuestro estudio, consideramos que las técnicas tridimensionales (3D) no son necesariamente una alternativa a las técnicas bidimensionales (2D). Pero se ha podido comprobar que se complementan entre ellas y se retroalimentan mutuamente. De esta forma, al combinarse se refuerza esa lectura volumétrica y analítica que los calcos y las fotografías planas no terminan de definir. Gracias a estas tecnologías, y como bien argumenta Sonia Santos Gómez en su artículo *El empleo de las tecnologías 3D en la conservación del patrimonio y su aplicación en la realización de reproducciones de bienes culturales*:

Se pueden realizar reconstrucciones volumétricas de partes faltantes o perdidas de esculturas (restauración de obras tridimensionales). Su utilización, en combinación con los sistemas de moldeo y positivado tradicionales, posibilita una actuación inocua para la obra original cuando se llevan a cabo estos procesos, ya que el material de moldeo no entra en contacto con la obra. Esta circunstancia es especialmente importante cuando la pieza a restaurar o a copiar es frágil o susceptible de alterar en contacto con él. (Santos, 2016, p. 98)

En cuanto a otro posible uso de estas nuevas obras impresas en 3D, hay que señalar que puede ser útil como recurso para la accesibilidad a invidentes en museos o centros de interpretación, también como recursos didácticos, merchandaishing, moldes para otras reproducciones, etc.

Los conceptos planteados en este proyecto serán complementados en otras ediciones con la resolución de pruebas de otros filamentos biodegradables, como los ensayos que se están llevando a cabo actualmente con la fibra natural de esparto y que pronto verán resultados. Así mismo, se complementa esta investigación con la adquisición de otro tipo de impresoras, como son las de tipo SLA, de cara a realizar impresiones en resina. En este sentido, se iniciará otra búsqueda constante de materiales que no sean contaminantes, para seguir ampliando la línea de respeto hacia el medio ambiente a través del empleo de filamentos y resinas biodegradables cuyo componente principal es el extracto de plantas.

Finalmente, nuestras investigaciones iniciadas al respecto continúan centradas en favorecer el uso de la tecnología digital aplicada al estudio de las imágenes y formas impresas en 3D y la creación de modelos únicos a través de los grafismos del arte rupestre del levante español. Incidiendo siempre en que se pretende ir más allá de la mera copia digital de las pinturas rupestres para generar otras obras inspiradas en estos grafismos tan importantes de nuestro legado cultural y artístico.

6. Referencias

Cacho Toca, R. y Gálvez Lavín, N. (1997). Aplicaciones de la fotografía digital en el estudio y reproducción de las pinturas rupestres paleolíticas. *Edades Revista de Historia*, 2, 7-20

- Domingo Sanz, I., Villaverde Bonilla, V., López Montalvo, E., Lerma, J. L. y Cabrelles, M. (2013). Reflexiones sobre las técnicas de documentación digital del arte rupestre: la restitución bidimensional (2D) versus la tridimensional (3D). *Cuadernos de arte rupestre*, 6, 21-32. <https://acortar.link/7yDiGf>
- Espinosa, J. (2014). La aplicación de las nuevas tecnologías al estudio de las pinturas rupestres del abrigo I del Barranco de los Grajos, Cieza, Murcia, España. En M. M. Alberto Muñoz y M. Pérez Sánchez (Eds.), *Territorio de la memoria. Arte y patrimonio en el sureste español* (pp. 15-43). Ed. Universidad de Murcia EDITUM. <https://doi.org/10.6018/editum.2704>
- Gómez González, (2016). *Impresión 3D*. Marcombo.
- Mark, R. y Billo, E. (2006). Computer-assisted photographic documentation of rock art. *Coalition*, 11, 10-14. <https://acortar.link/IVLpMI>
- Mateo Saura, M.A. (2016). *Entender el arte prehistórico*. Ed. Vae Victis.
- Ruiz López, J. F. (2019). *Tecnologías actuales al servicio de la documentación, estudio, conservación y divulgación del arte rupestre*. I Jornades Internacionals d'Art Rupestre de l'Arc Mediterrani de la Península Ibèrica, Montblanc. pp. 341-373.
- Santos Gómez, S. (2017). El empleo de las tecnologías 3D en la conservación del patrimonio y su aplicación en la realización de reproducciones de bienes culturales. *Observar*, 11, 97-114.
- Tejerina Antón, D., Boluferi Marqués, J., Esquembre Bebia, M. A. y Ortega Pérez, J. R. (2012). Documentación 3D de pinturas rupestres con Photomodeler Scanner: los motivos esquemáticos de la Cueva del Barranc del Migdia (Xàbia, Alicante). *Revista de Arqueología Virtual*, 3(6), 64-67. <https://doi.org/10.4995/var.2012.4443>

AUTOR:

Bartolomé Palazón Cascales:
Universidad de Zaragoza.

Doctor Internacional en Escultura por la Universidad de Sevilla y CODEMA Nacional de La Habana. Ha sido becado por diferentes instituciones, como el campus de Excelencia Internacional en Patrimonio 'PatrimoniUN10'. En la actualidad es profesor en la Universidad de Zaragoza, y está desarrollando un proyecto de investigación sobre la imagen y la forma de los grafismos de arte parietal y su visión tridimensional gracias a la tecnología 3D. Ha impartido conferencias y cursos sobre escultura, y publicado diversos libros y artículos sobre fundición artística, impresión 3D, análisis formal de las imágenes y arte público. Como artista plástico ha participado en diferentes exposiciones individuales y colectivas tanto a nivel nacional como internacional. En el ámbito curatorial numerosos comisariados avalan su trayectoria.

palazon@unizar.es

Índice H: 1

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-7184-429X>

Google Scholar: <https://scholar.google.com/citations?user=O1tTeLMAAAAJ&hl=es&oi=ao>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Bartolome-Palazon-Cascales>

Academia.edu: <https://independent.academia.edu/BARTOLOMEPALAZONCASCALES>