

**ALEX DA SILVA SUAREZ**

UNIVERSIDAD DE BURGOS

<https://orcid.org/0009-0004-0642-6632>[ads1013@alu.ubu.es](mailto:ads1013@alu.ubu.es)**ADELAIDA RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ**

MUSEO DE BURGOS

<https://orcid.org/0009-0001-1704-6780>[adelaida.rodriguez@jcy1.es](mailto:adelaida.rodriguez@jcy1.es)**LUIS ARAUS BALLESTEROS**

MUSEO DE BURGOS

<https://orcid.org/0000-0002-0263-4248>[luis.araus@jcy1.es](mailto:luis.araus@jcy1.es)**ANDRÉS BUSTILLO IGLESIAS**

UNIVERSIDAD DE BURGOS

<https://orcid.org/0000-0003-2855-7532>[abustillo@ubu.es](mailto:abustillo@ubu.es)

Recibido: 29/08/2024 Aceptado: 4/12/2024

<https://doi.org/10.36443/sarmental.84>

## RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL DE UN *ARCA FERRATA* ROMANA BAJO IMPERIAL MEDIANTE MODELADO 3D POR ORDENADOR<sup>1</sup>

### VIRTUAL RECONSTRUCTION OF A LOW-EMPIRE ROMAN *ARCA FERRATA* BY MEANS OF 3D ANIMATION TECHNIQUES

**RESUMEN**

Este trabajo presenta una primera aproximación a la reconstrucción virtual de un *arca ferrata* bajo imperial romana localizada en el yacimiento de Molino de Arriba (Buniel, Burgos). El mal estado de conservación de los restos metálicos que han llegado a nuestros días de este objeto ha obligado a una extensa discusión sobre su apariencia y dimensiones originales. La reconstrucción se ha llevado a cabo mediante software de modelado 3D con el objeto de generar un vídeo explicativo para el Museo de Burgos sobre este objeto singular y, en un futuro, integrarla en experiencias en Realidad Virtual.

**PALABRAS CLAVE**

Modelado 3D, Reconstrucción Virtual, *Arca Ferrata*, Bajo Imperio Romano, Mobiliario Romano, Burgos (España)

**ABSTRACT**

This work presents a first approximation to the virtual reconstruction of a late Roman *arca ferrata* located at the archaeological site of Molino de Arriba (Buniel, Burgos). The poor state of preservation of the metallic remains of this object has led to an extensive discussion of its original appearance and dimensions. The reconstruction has been carried out using 3D modelling software with the aim of generating an explanatory video for the Museum of Burgos about this unique object and, in the future, to integrate it into Virtual Reality interactive experiences.

**KEYWORDS**

3D modelling, Virtual Reconstruction, *Arca Ferrata*, Low Roman Empire, Roman Furniture, Burgos (Spain)

<sup>1</sup> Los autores agradecen a los arqueólogos Luis Alberto Villanueva y María Eugenia Delgado de ANTEQUEM Arqueología y Mediambiente S.L. por la campaña de excavación del yacimiento de Buniel en 2012 que dio lugar al descubrimiento de los restos que han servido de base para esta reconstrucción.

## INTRODUCCIÓN

La investigación en patrimonio arqueológico ha estado durante gran parte del siglo XX focalizada en los testimonios materiales y en menor medida en el registro arqueológico o sistémico para explicar y hacer comprensibles sus cambios, su transformación y su posición temporal o bien, la reconstrucción del pasado. Durante este tiempo, la mayor parte de la información extraída de esta labor investigadora quedaba restringida a su difusión en el ámbito académico; el público general debía contentarse con la explicación, dada por personal experto in situ en los yacimientos, de los restos excavados y a la exhibición de los objetos más significativos en museos junto con una pequeña explicación técnica de los mismos.

Pero, en las últimas décadas, el desarrollo de nuevas tecnologías de la información y de las comunicaciones y la rápida adopción de las mismas por parte de gran parte de la sociedad, ha hecho que demande el desarrollo de nuevas formas de presentar y difundir el patrimonio cultural. Esta necesidad es especialmente crítica en el caso del patrimonio arqueológico, dado que los restos que han perdurado hasta nuestros días, no permiten un conocimiento integral del pasado, tanto por las limitaciones conceptuales o bien, por su estado de conservación. Además, en la actualidad, se complica con la sociología de la época; por ejemplo, en el caso de las generaciones más jóvenes, estas nuevas formas de presentación, centradas en la brevedad, sencillez y uso de elementos multimedia, se convierten en una obligación si se desea que estas generaciones se impliquen en el entendimiento y protección futura de este tipo de patrimonio.

Es en este contexto en el que la reconstrucción virtual del patrimonio arqueológico se convierte en una vía para despertar el interés por estos restos en la sociedad. Soluciones tales como la creación de reconstrucciones virtuales mediante software de modelado y animación 3D, que posteriormente se pueden exhibir como vídeos o como entornos virtuales interactivos están a la orden del día en la oferta cultural de los grandes centros museísticos (Li et al. 2024, 16). Lamentablemente, no todos los museos y organismos culturales disponen del presupuesto suficiente para realizar estas reconstrucciones virtuales, por lo que la optimización y combinación de técnicas de reconstrucción virtual de este patrimonio se ha convertido en un importante tema de investigación en la actualidad (Rodríguez-García et al. 2024, 2).

Cuando se desea recrear patrimonio arqueológico, en su mayoría perdido o muy degradado, aparece un gran dilema: ¿es mejor intentar recrear grandes espacios o edificios singulares o se deben centrar los esfuerzos en objetos singulares de menor dimensión? Los espacios y edificios principales de cualquier núcleo urbano permiten explicar cómo se configura una sociedad, sus prioridades y relaciones sociales. Las recreaciones virtuales, en especial si se integran en entornos de Realidad Virtual, pueden ayudar a entender la magnitud de estos espacios y edificios, y, por ende, el desarrollo de la sociedad que los elaboró y la importancia que dio a los mismos. Pero, si bien estas experiencias nos acercan racionalmente a

estos entornos, en muchas ocasiones no consiguen producir un impacto emocional suficiente en el usuario para intensificar la interiorización de conceptos históricos-artísticos (Checa y Bustillo 2020, 161). Es con los objetos más pequeños con los que el ser humano parece generar más vínculo emocional, empatizando así más fácilmente con los habitantes de aquellas urbes y sociedades donde fueron creados y utilizados.

A esta reflexión, se podría añadir que, independientemente de tratarse de grandes espacios u objetos de menores dimensiones, lo concluyente para tratar de realizar una recreación es el porcentaje del bien arqueológico o resto conservado. Este hecho posibilita que la recreación sea más o menos fidedigna. En un ambiente académico, el rigor resulta fundamental y, por ello, cuanto mayor sea el porcentaje del objeto/resto arquitectónico conservado, más preciso será el estudio. Por el contrario, en ámbitos que prioricen la divulgación, el foco se pondrá en el valor comunicativo de la recreación. Esta distinta perspectiva, hace que sea imprescindible en cada caso concreto especificar muy claramente el nivel de recreación al que se han atendido los autores (Rodríguez-García et al. 2024, 8).

Si nos referimos a los objetos singulares de pequeño tamaño, en muchos casos estaban fabricados en materiales que han podido llegar hasta nuestros días. Metales preciosos, hueso, cerámica o piedra se han conservado en estados aceptables o han permanecido en sus mismos contextos originales, permitiendo su exitosa restauración y enfatizar su función dentro de los contextos del pasado. En cambio, otros materiales como la madera, tejidos o metales no nobles no han tenido la misma suerte. Son los objetos constituidos mayoritariamente por estos materiales los que se han perdido de forma mayoritaria, y para los que la reconstrucción virtual se convierte en una necesidad más acuciante. Al conservarse restos muy limitados de estos materiales, se hace preciso el uso de fuentes antiguas de información alternativas para su reconstrucción virtual, tales como, en el mundo clásico, relieves, pinturas murales, mosaicos o monedas (Moreno 2013, 58), además de algunas fuentes textuales de la Antigüedad (Remotti et al. 2010, 26).

Entre estos objetos, los pertenecientes al mobiliario habitual del mundo clásico son fundamentales para entender la vida diaria tanto en las grandes urbes como, durante el Bajo Imperio como en las villas rurales. Los testimonios de muebles reales de esta época son excepcionales, tanto por la conservación en sí misma, como por su vinculación a contextos íntegros (Mols 2007-08, 145-160); en este sentido, los ejemplos mejor conocidos son los extraídos de las excavaciones en Herculano (Mols 2020 y De Carolis 2007). Existen muchos otros ejemplos de piezas degradadas que permiten inferir su funcionalidad y, sobre todo, la técnica de fabricación de los mismos, pero en los que recrear su apariencia visual original es muy difícil a partir del resto restaurado (Bockius 2021, 225). Debido a la gran limitación de fuentes existentes, son muy escasos los ejemplos de estudios científicos centrados en la reconstrucción del material mobiliario de época clásica (Moreno 2013, 58), si bien existen

reconstrucciones libres, donde la justificación histórica sobre la reconstrucción realizada es más limitada<sup>2</sup>.

Uno de los elementos mobiliarios basados en madera y metales menos nobles más singulares de la Época Clásica son las *arcae ferratae*. Estas cajas de caudales, que servían para guardar objetos de valor de templos y *domus*, solían estar elaboradas con madera, como elemento estructural, y láminas de distintos metales que sirvían de refuerzo o adorno. El metal más habitual para los refuerzos, ya sean en forma de láminas o clavos, es el hierro, mientras que para los adornos es el bronce. La degradación con el transcurso del tiempo, sobre todo de la madera y el hierro, es muy pronunciada, por lo que, los restos de *arcae ferratae* localizados en yacimientos arqueológicos difícilmente permiten la reconstrucción de la pieza original. Además, al ser elementos mobiliarios, su aparición se asocia a villas y templos que no han solido perdurar al ser destruidos violentamente, por lo que la acción humana y el fuego han facilitado una degradación todavía mayor de los materiales que las componen. Únicamente los adornos más singulares realizados en bronce suelen, tras una meticulosa restauración, permitir imaginar la importancia del objeto al que pertenecieron. Pero, estos elementos, si bien muy llamativos, no facilitan la comprensión del valor, funcionamiento y rol de este elemento mobiliario en el espacio al que perteneció.

El objetivo principal de este trabajo es el desarrollo de una reconstrucción virtual de un *arca ferrata* perteneciente, según los excavadores del yacimiento, al Bajo Imperio, localizada en los trabajos de exhumación (Villanueva y Delgado, 2012) de la villa romana de Buniel (Burgos) en la campaña de 2012. En este objetivo se inscribe la descripción y análisis del procedimiento de reconstrucción seleccionando, indicando las ventajas e inconvenientes que presenta frente a otras alternativas. La reconstrucción se plantea en una primera etapa como base para la realización de un vídeo multimedia que explique los principales elementos que constituían este elemento, postergándose para una segunda etapa la inclusión del *arca ferrata* en un entorno de Realidad Virtual interactivo que permita un acercamiento más personal e individual a este objeto excepcional. Esta segunda aplicación hace necesaria la optimización topológica de la malla 3D del objeto, para permitir su renderizado en tiempo real en el futuro. La exhibición del vídeo multimedia estará vinculada a la web del Museo de Burgos y a su propio recinto, al ser esta institución en la que se encuentran depositados los restos de la citada *arca ferrata*.

El resto de este artículo se estructura de la siguiente manera. En el siguiente apartado se presentan los antecedentes de este trabajo, en especial las *arcae ferratae* pertenecientes al bajo imperio romano localizadas hasta la fecha y las reconstrucciones realizadas de las mismas. A continuación, se presentan los restos arqueológicos conservados del *arca ferrata* de Buniel y el contexto en el que fueron localizados. Con estos dos elementos base, en el siguiente apar-

tado se detalla el proceso de reconstrucción virtual de esta *arca ferrata* mediante técnicas de modelado y animación 3D con el fin de generar un vídeo explicativo sobre la estructura y funcionamiento de esta pieza mobiliaria. El artículo se cierra con las principales conclusiones extraídas de este trabajo y las futuras líneas de trabajo que se derivan del mismo.

### ANTECEDENTES: LAS ARCAE FERRATAE EN EL BAJO IMPERIO ROMANO

Las *arcae ferratae* son objetos mobiliarios especialmente singulares, constituyendo uno de los tipos de cajas reforzadas fabricados en la Antigüedad (Pascual et al. 2023, 489). Su función principal es conservar y proteger objetos de valor. Para ello se configuran en forma de caja con una tapa superior que se abría mediante bisagras. La estructura de estas arcas estaba formada por gruesas tablas de madera sobre las que se clavaban láminas metálicas, habitualmente de hierro, para reforzar su estructura. Estas láminas se fijan con un uso masivo de clavos, más como un motivo estético, reforzando la imagen de objeto fuertemente blindado, que funcional. Su ubicación principal se encontraba en templos y en viviendas de alto nivel económico. En estas viviendas, su función respondía más a un interés por la ostentación de la riqueza que a consideraciones de seguridad, por lo que habitualmente se encuentran en el atrio (Melillo 2016, 74), aunque también se han hallado en dormitorios, estudios, trasteros y peristilos (Croom 2007, 139). Por esta misma razón suelen presentar una cuidada decoración formada por las propias tachuelas o clavos que fijan las placas metálicas a la estructura de madera, completada con aplicaciones de bronce en relieve con figuras o escenas mitológicas o relacionadas con la protección del contenido. Ejemplos habituales de los primeros son representaciones de Apolo o la diosa Fortuna (Schmauder y Stiller 2004, 187), mientras que para los segundos lo más habitual son el uso de cabezas de león y de gorgonas (Schmauder y Stiller 2004, 180-4).

Dos son las configuraciones más habituales de las *arcae ferratae*: encastradas o portables. Las encastradas están unidas a una pared o al suelo con gruesos pernos de hierro para evitar su robo (De Carolis 2007, 143). Este tipo de arcas son de grandes dimensiones (sobre un metro en su eje longitudinal) y contaban con patas de pequeña altura también reforzadas para alzarlas ligeramente sobre el nivel del suelo. El refuerzo con placas de hierro y clavos afectaba a toda la superficie exterior del arca. Las cajas portables eran de menores dimensiones y seguramente no estaban pensadas para el traslado de materiales muy pesados (como grandes cantidades de monedas, por ejemplo), dado que contaban con dos asas laterales habitualmente de bronce. Si bien contaban con placas de hierro con clavos, estos podían no cubrir toda la superficie exterior del arca, asemejándose entonces a la tipología de *arca lignaeae*. En algunos casos contaban también con pequeñas patas reforzadas siguiendo la misma técnica. Otra diferencia significativa era la colocación de los adornos: en las arcas encastradas se colocaban en la cara frontal donde se encontraba la cerradura, en las arcas portables, dada su menor dimensión, a veces estos elementos se distribuían por la tapa superior en lugar de en la cara frontal, donde la embocadura de la cerradura solía ocupar gran parte del espacio existente.

<sup>2</sup> Véase por ejemplo el modelo 3D de *arca ferrata* en: <https://alveusr.com/modelo/caja-fuerte-romana/>.

Si bien existen evidencias de *arcae ferratae* por todo el imperio romano, el mayor número de estos elementos mobiliarios procede de las ciudades romanas destruidas en la erupción del Vesubio del año 79 d.C. En Pompeya, Herculano y Oplontis se ha documentado la existencia de unas treinta arcas (Andersson 2022, 162). Su estado de conservación es muy desigual y en muchos casos se limita a la presencia de la base de hormigón o piedra a la que estaban fijadas. A pesar de que estas piezas son de las mejores conservadas, el proceso de restauración que permita su exhibición pública en un estado cercano al que mostraron en su origen es arduo y complejo como ocurre con los ejemplares más excepcionales hallados en Pompeya, tanto en la Casa de Triptólemo (Bertelli y Bonsanti 2016, 62-67) como en la Casa de los Vettii (Prisco et al. 2014, 68-86).

Fuera del área vesubiana, los ejemplares conservados son escasos y en la Península Ibérica se han documentado tres (además del incluido en este estudio): uno procedente de Tarazona (Beltrán Lloris y Paz Peralta 2002, 144-181) y (González Pena 2004, 373), otro de Mérida en la casa del Mitreo (Pascual et al. 2023, 487) y un arca de madera con refuerzos metálicos parciales hallada en Calahorra (López de Calle y Tudanca 2000, 53). El arca de Tarazona se fecha en el siglo I d.C. y presenta bastantes semejanzas con las conservadas en el Museo Arqueológico Nacional de Nápoles en su estructura y en su rica decoración con aplicaciones de bronce. Por las grandes dimensiones de las tres arcas y su colocación, pertenecen al tipo de arcas encastradas. En estos casos el estado de conservación de las arcas es peor que las italianas, y su exhibición tras su cuidadosa restauración difícilmente permite al público general hacerse una idea acertada sobre su apariencia original.

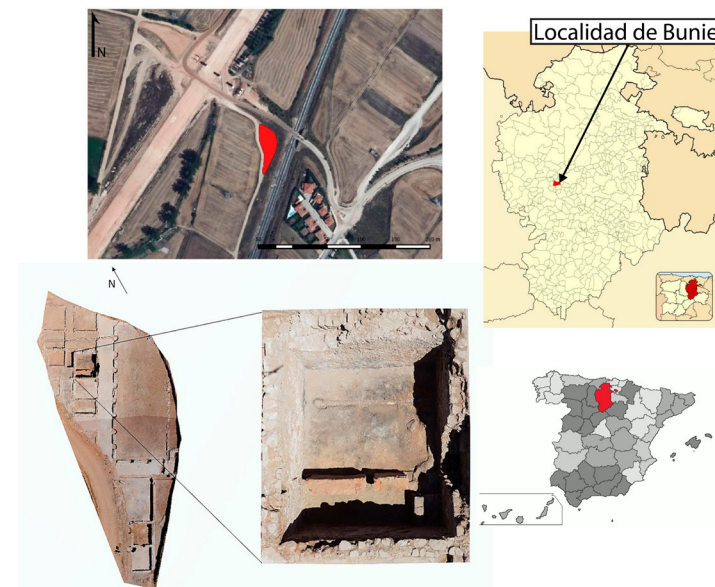
Debido a este general mal estado de conservación de los restos que componen estos elementos singulares, se ha hecho obligatorio un importante esfuerzo de análisis de los mismos para concluir como debían lucir en su época de esplendor y poder realizar reconstrucciones hipotéticas de su apariencia. Existen tantas dudas sobre su apariencia original que gran parte de las reconstrucciones de estos objetos vinculadas a estudios científicos presentan sencillas infografías sobre la colocación de los restos localizados (mayoritariamente metálicos) en el mueble. En la obra de Schmauder y Stiller (2004) se muestran gráficamente varias posibles distribuciones de los restos metálicos de varias *arcae ferratae* romanas de Germania, todas ellas del tipo portable. Lo mismo ocurre en la obra dedicada por Emilie Riha (2001) a los elementos mobiliarios descubiertos en Augusta Raurica (Kaiseraugst, Alemania). Frente a las arcas portables alemanas, en Italia son más frecuentes las grandes *arcae ferratae* encastradas como las anteriormente citadas del área vesubiana.

Es importante señalar, que menos en las escasas piezas conservadas con su estructura de madera, la colocación de los adornos y las dimensiones de estas piezas son, de alguna forma, un amplio ejercicio de imaginación a la que se aporta la mejor justificación académica posible. Por ejemplo, en la mayoría de las reconstrucciones de arcas se tiende a colocar los elementos

singulares en la cara frontal (Lagi 2013, 86) o (Riha 2001, 17, 25) rodeando la embocadura de la llave o sobre la misma, aunque cuando las arcas son portables se tiende a colocarlos en la cara superior debido al limitado espacio existente en la cara frontal debido al menor tamaño de estas arcas (Riha 2001, 77). Elementos tales como cabezas de león con argollas se han colocado desde en la cara superior de la tapa (Riha 2001, 77), la cara frontal de la tapa (Riha 2001, 32) o la cara frontal del arca (Lagi 2013, 87), de esta forma, esas argollas en algunos casos serían decorativas y en otros funcionales (para levantar la tapa de la caja), demostrando la enorme variabilidad de soluciones que distintos autores han buscado a estas incógnitas.

### EL ARCA FERRATA DEL YACIMIENTO DE MOLINO DE ARRIBA (BUNIEL)

Los restos de esta *arca ferrata* fueron localizados en la excavación arqueológica del yacimiento de Molino de Arriba (Buniel) dentro de la actuación integrada en el “Proyecto de construcción de la plataforma del corredor norte-noroeste de alta velocidad, línea Valladolid-Burgos: tramo Estepar variante ferroviaria de Burgos” (número de expediente: CPCCYL 30/2011) en los meses de junio-julio de 2012. Este yacimiento está incluido en el Inventario Arqueológico de Castilla y León con número de inventario 09-058-01-02 que atiende a una villa romana de grandes dimensiones.



**Fig. 1.** Localización de la estancia L dentro de la zona excavada, con una panorámica de la estancia subterránea, una vez exhumados el contenido de los estratos formados por el derrumbe del piso superior y el contenido del sótano (Arnaiz et al. 2020, 537).

En concreto, los restos del *arca ferrata* están asociados a la parte construida de villa perteneciente al siglo IV d. C. Se localizaron en la Unidad Estratigráfica (UE) 106, formando la agrupación 12 de las descritas en la Memoria final de esta excavación (Villanueva y Delgado 2012, 143). La UE 106 corresponde a un estrato -incluido en un ámbito denominado Estancia L por los excavadores- que pertenece a un espacio subterráneo catalogado como sótano o almacén. Dentro del mismo, se acumulan sedimentos y materiales arqueológicos formados y depositados como consecuencia de la destrucción y derrumbe de los pisos superiores: UE 120. La Figura 1 muestra la localización de esta estancia en el conjunto del yacimiento excavado (Arnaiz et al. 2020, 540). La formación mencionada de la UE 106 enfatiza que su contenido esté integrado por materiales dispares y de distinto signo: objetos propios de almacén (herramientas, parrillas, hoces, recipientes con semillas, utensilios para el trabajo del campo, etc), junto a otros vinculados con funciones de carácter más singular o simbólicas (banquetes y elementos de ajuar funerario). Entre estos últimos, destacan recipientes metálicos elaborados en bronce: acetres de distintas morfologías, sítulas, jarras, coladores, botellas y una *authepsa*, todos ellos guardados, en origen, con mimo unos en el interior de otros (Rodríguez y Ruiz Vélez 2020, 239). Además de estos materiales, se localizaron clavos, asas, adornos y láminas de hierro que constituyen el arca ferrata sobre el que se desea realizar la reconstrucción virtual.

A través del registro arqueológico obtenido en esta estancia subterránea, los excavadores han propuesto una situación temporal que extienden a la segunda etapa constructiva de la villa, basada en diferentes testimonios materiales: dos monedas encontradas en esta estancia, un dupondio altoimperial y un pequeño bronce de la dinastía constantiniana fechado entre 335 y 347 d.C., así como dos platos completos de TSHT de los tipos Mezq. 80/Palol 1 y Mezq. 74/Palol 4, (Palol y Cortés 1974) pertenecientes a la segunda mitad del siglo IV d.C, pudiendo establecer esta fecha con posterioridad a la primera mitad del siglo IV d.C. (Villanueva y Delgado 2012, 150-157).

Al margen de los materiales apuntados, la excavación de la UE 120 proporcionó otro conjunto de elementos que la valoración crítica permitió que fueran vinculados al *arca ferrata* (Figura 2A). La Figura 1 muestra una vista general de tales materiales junto con detalles de algunos de los más significativos. Un inventario de los mismos se indica a continuación:

- un relieve o grabado de bronce de una gorgona (Figura 2B),
- 4 relieves de cabezas de león, 2 de ellos con argollas (Figura 2C),
- una lámina de bronce para la embocadura de la cerradura con orificio en L (Figura 2D),
- 2 asas de bronce con dos pasadores de aleta (Figura 2E),
- laminas, tanto planas como con un ángulo de 90° para servir de esquinas, de hierro reforzadas con clavos también de este material (un ejemplo en la (Figura 2F),

- 2 bisagras de hierro en triángulo recortado por uno de sus laterales (Figura 2G),
- numerosos clavos con dos tipos de cabeza: simples o en sombrerete
- distintas láminas y elementos del mecanismo de cierre y apertura de la caja en hierro.



Fig. 2. Material recuperado en la excavación perteneciente al *arca ferrata*

El arca incluye elementos simbólicos de protección muy habituales en el mundo clásico, constituidos por una gorgona y leones, en línea con lo identificado en otras *arcae ferratae* romanas ya señaladas en la sección anterior. La lámina de la cerradura tiene la habitual forma en L y en este caso presenta una significativa decoración con clavos de sombrerete, algo observable también en algún otro ejemplo de los recogidos en la bibliografía (Riha 2001, 81).

La superficie total conservada de láminas de hierro asciende a unos 5230 cm<sup>2</sup>, si bien no se consideraron los restos de lámina con una superficie inferior a 1 cm<sup>2</sup>. La longitud total de las láminas de hierro en forma de esquinas alcanza los 2,82 m. El total de clavos simples recogidos se encuentra en torno a 300 (168 incrustados en las láminas de hierro y 123 sueltos), mientras que los compuestos o de sombrerete son mucho menos numerosos y alcanzarían los 43 (36 incrustados en las láminas de hierro y 7 sueltos). La destrucción sufrida por el colapso del piso superior y el incendio de la estancia hace que se haya perdido gran parte del bronce, mientras que el hierro se halla en muchos casos muy degradado, estando muchas láminas de hierro pegadas entre sí debido a su corrosión, lo que dificulta la correcta estimación de la superficie total de estas láminas, a lo que contribuye la apari-

ción en el registro arqueológico tanto de arcas forradas sólo por el exterior como de otras también forradas en su superficie interior.

A partir de este material, se han estimado las dimensiones y estructura del *arca ferrata* de acuerdo a los siguientes elementos:

- La longitud máxima del arca se ha estimado considerando dos veces la longitud de una plancha de hierro de 18 cm de longitud, dado que esta plancha conserva restos de bronce de haber estado unida a la placa de la cerradura, más la anchura de la placa de la cerradura (15 cm) y más dos veces la longitud de las esquineras verticales que cierran la caja por cada lado (2,5 cm), esto es, unos 55 cm.
- La longitud de las bisagras marca la altura de la tapa, un poco más larga que la longitud de la bisagra (considerando que el lado recortado de las bisagras, de 7,5 de cm frente al completo de 8,5 cm de longitud, estaba colocado hacia la tapa).
- El ángulo de giro de las bisagras obliga a que sean exteriores al *arca ferrata*.
- La existencia y longitud de las patas se ha estimado a partir de las medidas de los diferentes clavos obtenidos. Se intuye que las patas deberían medir de alto unos 2 cm, ya que los clavos complejos que tienen forma de sombrero, que son los clavos colocados en las esquineras, tienen aproximadamente esa medida.
- La existencia de 2 asas hace suponer que el *arca ferrata* estaba concebida como un elemento portable y no empotrado, esta configuración obligaría a reforzar todas las caras (mientras que las empotradas no tienen reforzada la cara posterior)
- La longitud no doblada de los pasadores de aleta que sujetaban las asas, junto con la longitud de los clavos mejor conservados, permite estimar el espesor de la madera de la caja en 3 cm aproximadamente.
- La altura (40 cm) y profundidad (30 cm) del *arca ferrata* se ha estimado buscando un equilibrio entre la proporción altura tapa-altura caja y la superficie total existente de láminas de hierro y la longitud de las esquineras, considerando un solape habitual entre láminas de un 20%. Así, la cara frontal y trasera del arca requerirían unos 5.500 cm<sup>2</sup> de láminas solapadas (habiéndose contabilizado 5230 cm<sup>2</sup> sin contar trozos de pequeño tamaño). Como hipótesis más plausible, se ha considerado que la caja sólo tendría láminas de hierro en la superficie frontal y trasera, mientras que el resto de las caras tendrían elementos de bronce y lámina de este metal. Esta decisión se justifica considerando la superficie total de lámina de hierro conservada y analizando las dimensiones consideradas para las arcas portables germánicas (Riha 2001, 17) dado que las conservadas en su totalidad, mayoritariamente italianas, pertenecen a la tipología de arcas ferrata encastradas y no a las portables.

Respecto a la distribución de los elementos principales se han seguido las siguientes hipótesis:

- la existencia de 2 leones con argollas hace pensar que servían como elemento facilitador del levantamiento de la tapa por lo que su localización debía estar en la tapa. En la tapa podrían estar, o bien en la cara superior de la misma, o bien en las caras laterales o en la frontal. Se simularon ambas configuraciones como se muestra en la Figura 3. A partir de las configuraciones más habituales de los elementos ornamentales en *arcae ferratae* recogidas en el apartado anterior, donde estos elementos se sitúan de forma conjunta, véase por ejemplo los 4 leones de la reconstrucción del *arca ferrata* de Diershelm (Riha 2001, 78), se ha optado por una configuración en la que los 5 elementos ornamentales (los 4 leones y la gorgona) se colocan en la cara superior de la tapa (Figura 3 derecha), mientras que la cerradura se sitúa en la cara frontal del arca, lo que facilitaría el funcionamiento del mecanismo de apertura y cierre, frente a su localización en los leones en las caras frontales de arca y tapa y la gorgona en la cara superior de la tapa (Figura 3 izquierda). Además, la colocación de alguno de estos elementos en la cara frontal junto a la lámina de la cerradura hubiera requerido mayores dimensiones de altura y longitud de la caja, algo incoherente con la cantidad de láminas de hierro existentes y con el hecho de que parte de estos 5 elementos muestran restos de lámina de bronce en su parte inferior.
- El mecanismo del cierre no se ha reconstruido en este trabajo, si bien tiene la misma estructura que cierre de pasador como los localizados en gran parte del imperio romano (Thomas 2014, 70) gracias al vástago que se ha conservado recogiendo la forma inversa del dentado de la llave.

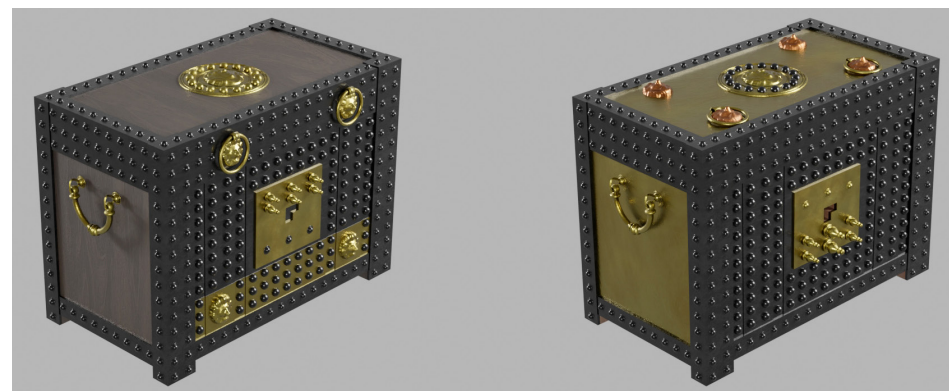


Fig. 3. Configuraciones posibles en la distribución de los leones.

Sobre los materiales se han seguido las siguientes suposiciones:

- Parecen existir dos tipos de bronce, uno más amarillento y otro más rojizo, dado que se han encontrado piezas o trazas de ambos
- La madera elegida, roble, se debe a la búsqueda de un equilibrio entre maderas muy blandas y de poco valor (pino, aliso o abedul) y maderas muy duras (olmo, haya o tejo) que hubieran hecho muy difícil el trabajo de fijación de tantos clavos.

Otras decisiones tomadas:

- Homogeneidad en la colocación de los clavos: las *arcae ferratae* conservadas en el área vesubiana (las que están en mejor estado de conservación) muestran una distribución bastante homogénea de las tachuelas, si bien la precisión en su colocación no es milimétrica. Se ha querido añadir ese pequeño carácter aleatorio en el tamaño de las cabezas y en su colocación para resaltar así un trabajo manual frente a una automatización industrial no propia de la Antigüedad.
- Los clavos con sombreretes se han colocado en la lámina de bronce de la embocadura de la llave dado que a este elemento se encontraban unidos algunos de los que aparecieron. Si bien existe alguno más de los incluidos en la reconstrucción cuya colocación en el arca original es pura especulación, por lo que no se han incluido en esta primera versión de la reconstrucción.

### RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL DEL ARCA FERRATA DE BUNIEL

La reconstrucción virtual del *arca ferrata* de Buniel constó de 5 etapas no siempre secuenciales dado que, en ocasiones, fue preciso volver a una etapa anterior para la corrección de errores o incoherencias funcionales. Las diferentes etapas que componen la reconstrucción virtual son: adquisición mediante fotogrametría, modelado 3D, texturizado, iluminación, animación y renderizado y postproducción.

#### Fotogrametría

El objetivo final de un modelo 3D relativo a patrimonio marca la calidad tanto en término de densidad poligonal como de sus texturas. En el caso de generación de renderizados *off-line* como los propios de un vídeo, se puede priorizar la calidad frente al coste computacional del renderizado. Pero en este caso, el modelo 3D no se desea utilizar únicamente para generar un vídeo, sino en el futuro para su integración en experiencias interactivas en Realidad Virtual. La Realidad Virtual precisa un renderizado *on-line* de alta frecuencia, lo que obliga a priorizar la optimización poligonal y en texturas del modelo.

Partiendo de este requerimiento, la fotogrametría, que capta la geometría 3D del objeto mediante imágenes reales de alta resolución, no parece la técnica adecuada para generar el modelo 3D de los elementos metálicos conservados del *arca ferrata*. En cambio, si que

es una técnica apropiada para captar la geometría actual de los elementos conservados. El modelo 3D extraído de la fotogrametría será posteriormente utilizado como base para el modelado 3D manual de los elementos metálicos del arca, sirviendo por tanto como referencia para reproducir la geometría original del arca, pero evitando el pesado modelo poligonal que se obtendría si se utilizara el modelo extraído de la fotogrametría directamente.

Esta etapa tuvo una gran importancia en varios elementos singulares como la gorgona y las cabezas de león. Estos relieves cuentan con gran detalle y su captación mediante fotogrametría aseguraría el modelado 3D fidedigno de los mismos. Pero, debido al deterioro de estos relieves (doblado de las planchas y golpes especialmente), los modelos 3D extraídos de la fotogrametría sólo se pudieron utilizar parcialmente como referencias en el modelado. Además, estos modelos 3D presentaban otro problema adicional: contaban con una gran cantidad de polígonos; sirva como ejemplo el relieve de una cabeza de león: el modelo 3D extraído de la fotogrametría cuenta con cerca de medio millón de vértices, mientras que el león modelado manualmente cuenta con poco menos de cien mil vértices. La Figura 4 muestra una cabeza de león, tanto en el mapa de vértices generado mediante la fotogrametría, como en el generado mediante modelado 3D. Otros elementos más sencillos, como asas, tachuelas, esquinas o plancha de la cerradura fueron fotogrametriados con el mismo objetivo. Para la fotogrametría se utilizó el software *Reality Capture* y posteriormente se exportó la malla generada al programa *Blender*.

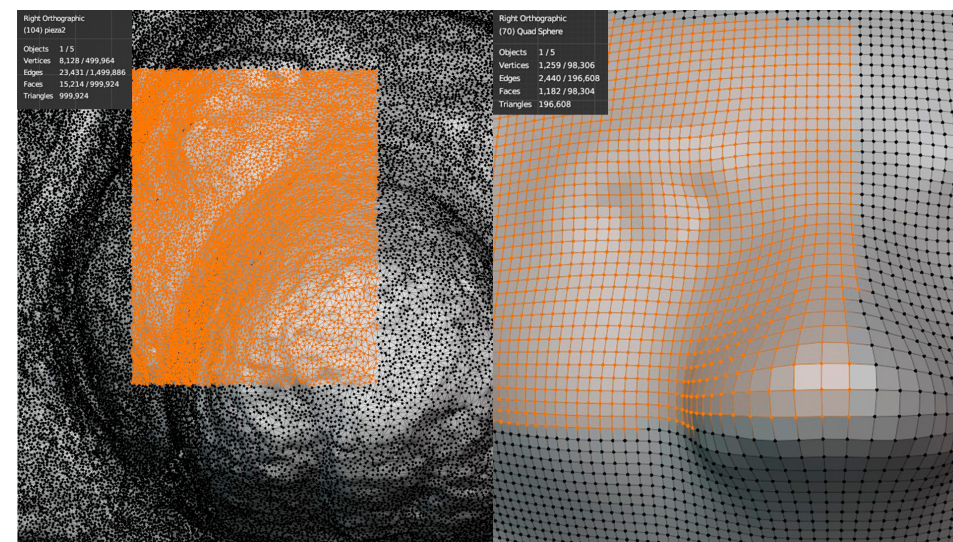


Fig. 4. Mapas de vértices (en naranja) de la fotogrametría (izq) y del modelo 3D (der) de una cabeza de león.

### Modelado 3D

La etapa de modelado 3D fue la más compleja de todo el proceso de reconstrucción virtual. Para la realización de esta etapa y las dos siguientes se eligió el software libre y de código abierto *Blender*, debido a la familiaridad del equipo investigador con el mismo y la facilidad de la exportación de los modelos 3D creados con el mismo a distintos motores de videojuegos en Realidad Virtual, como *Unreal Engine*.

La realización del modelo 3D del *arca ferrata* incluye los siguientes elementos: la tapa del arca, la propia arca, las asas laterales, las bisagras colocadas en la parte posterior, la embocadura de la cerradura, los elementos decorativos (gorgona y cabezas de león), las diferentes chapas de hierro o de bronce y, finalmente, los diferentes clavos, tanto sencillos como complejos.

Si bien se utilizó el modelado poligonal para mantener el mínimo número posible de polígonos, algunos elementos, como las asas, fueron realizadas utilizando modelado mediante curvas dado su naturaleza geométrica curvilínea y otros, como la cabeza de gorgona y las de león, fueron realizadas mediante modelado por escultura dado el alto nivel de detalle orgánico que necesitaban. Operadores booleanos de resta u operadores de simetría o de revolución han sido también usados para reducir el número total de polígonos o el trabajo de modelado manual en piezas que lo permitieran, como la embocadura de la cerradura, las asas o los clavos respectivamente.

Una vez realizado el modelado 3D de los distintos elementos que componen el *arca ferrata* se procedió a fijar las dimensiones del arca y la distribución de estos elementos sobre el arca. En el apartado anterior ya se ha comentado las distintas posibilidades en la colocación de los elementos singulares, tanto en la cara frontal (tanto del cuerpo del arca como de la tapa) y en la cara superior, habiéndose justificado la distribución elegida.

### Texturizado

Una vez realizado el modelado del arca se procedió a crear los diferentes materiales que le daban forma. Para la selección de los materiales se tuvo en cuenta la documentación existente sobre *arcae ferratae* ya comentada anteriormente, así como los análisis químicos realizados sobre las piezas recuperadas en la excavación. Para la generación de las texturas, al estar muy dañados los restos existentes y no poder extraer texturas imagen de los mismos que se asemejaran al color original de las piezas metálicas conservadas, se optó por la creación de texturas procedimentales.

Entre las texturas procedimentales desarrolladas en *Blender* cabe señalar: madera de roble, hierro, aleación de bronce amarillenta y aleación de bronce rojiza, al haberse observado dos aleaciones de bronce distintas en la restauración de los materiales extraídos de la excavación pertenecientes al arca. La Figura 5 muestra los cuatro materiales desarrollados

indicados anteriormente: madera de roble (1), hierro (2), aleación de bronce amarillenta (3) y aleación de bronce rojiza (4).

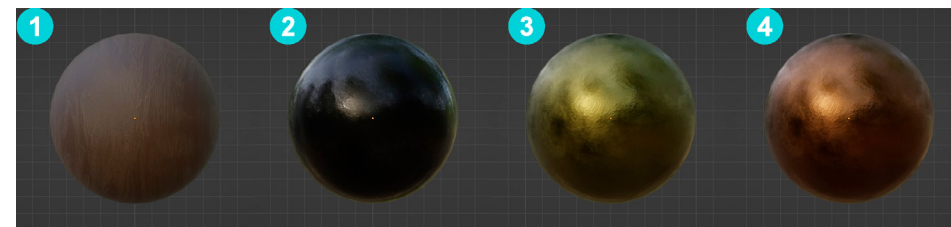


Fig. 5. Materiales procedurales desarrollados para el texturizado del *arca ferrata*.

La madera de roble se utiliza como estructura base del arca, posteriormente esta fue recubierta de diferentes placas de hierro o de bronce amarillento, como se puede observar en las tapas laterales y en la tapa superior. El material de hierro se utilizó en los refuerzos del arca en la cara delantera y trasera y en las esquinas del arca. También se utilizó el hierro para diferentes elementos como los clavos, tanto sencillos como complejos y en las bisagras. Respecto al bronce, la aleación de bronce amarillenta se utiliza en la cerradura, en las asas laterales, en el asa de la parte superior de los leones y en el elemento decorativo de la cabeza de gorgona. En cambio, la aleación de bronce rojiza se utiliza en las cuatro cabezas de león.

Dentro de las opciones de *Blender* para conformar los materiales paramétricos, se optó la siguiente estrategia: 1) utilizar el nodo *Principal BSDF* como nodo principal de cada material, 2) utilizar nodos *Color Ramp* como controladores del resultado final al ser muy sencillos de variar modificando el color resultante y 3) aplicar mediante un nodo *Bump* un efecto de *normal mapping* o falsa rugosidad que permite materiales más realistas sin aumentar desproporcionadamente el número de vértices de los objetos.

### Iluminación, animación y renderizado

En cuanto a la iluminación para la generación del vídeo, se hizo uso de un esquema de iluminación compuesto por tres luces, una luz principal situada en la parte frontal derecha, una luz de relleno situada en la parte frontal izquierda y una luz de recorte situada en la parte trasera izquierda. De esta forma, se mantiene una iluminación suficiente en todos los detalles del arca a la vez que se resalta la tridimensionalidad del objeto.

El software utilizado, *Blender*, proporciona varios tipos de luces, seleccionándose luces de tipo área al producir sombras más suaves y cercanas al efecto de focos con difusores como los que se utilizan en estudios de fotografía. Como *Blender* permite asignar distinta potencia a cada luz, la luz principal tiene una potencia de que dobla a la luz de relleno, siendo la potencia de la luz de recorte un valor intermedio entre los dos anteriores. Las tres luces son



de color blanco, con la finalidad de no alterar las tonalidades de los diferentes elementos que componen al *arca ferrata* e influir lo mínimo posible en la percepción del espectador. La Figura 6 muestra un detalle del vídeo renderizado donde se observa como la iluminación elegida resalta la rugosidad de la lámina de bronce que sirve de embocadura a la cerradura.



Fig. 6. Fotograma ya renderizado de la embocadura de la cerradura.

Respecto a la animación del *arca ferrata*, la animación principal se realiza sobre la cámara, modificándose así de forma continua y suave la perspectiva desde la que se observa el *arca ferrata* y la distancia a la misma, para apreciar tanto sus dimensiones de conjunto, como el detalle de sus elementos más singulares. El uso de herramientas tales como el *Track to* como el *Follow path* sobre la cámara aseguran la suavidad de los movimientos en el vídeo final.

Complementariamente, se han animado algunos elementos del arca, tales como las asas laterales cuando se eleva la caja o las argollas de la tapa al abrir el arca, además de la propia tapa. La animación programada incluye una curva de interpolación que añade una aceleración inicial y una desaceleración final, para obtener un movimiento más suave y realista de apertura y cierre del arca.

Por último, la etapa de renderizado es la responsable de generar la infografía que constituye la base de cada fotograma del vídeo final. La elección del motor de renderizado más apropiado y la configuración óptima de sus parámetros marcan la calidad del producto final obtenido. Entre los motores de renderizado integrados en *Blender*, se eligió el motor *Cycles*, motor que se caracteriza por un tiempo computacional mucho más alto que otros motores,

pero una calidad final visual del renderizado muy superior, requerimiento fundamental en este caso para generar un producto de alto atractivo visual. El uso de la herramienta *denoise* permitió reducir el tiempo total de renderizado sin reducir la calidad visual del producto final.

La resolución del vídeo se configuró en 1920 x 1080 píxeles (proporción estándar de 16:9 y calidad HD) y a una frecuencia de 25 fotogramas por segundo. Esta configuración se eligió al ser la más común en vídeos que deben ser visualizados tanto dentro de páginas web como en televisores en museos (Jingjing et al. 2024, 16).

### Postproducción

En la fase de postproducción se realizó el montaje del producto audiovisual final, añadiéndose los efectos y la información necesaria para acercar este elemento mobiliario romano al público del Museo de Burgos. Para hacer más atractivo el vídeo se decidió, en primera instancia, incorporar información textual sobre los materiales, dimensiones y elementos singulares que componían el arca, sirva de ejemplo la Figura 7 donde se muestra en el vídeo las dimensiones del arca. En un segundo momento, para resaltar al público el estado de conservación de los restos y así crear un vínculo entre el material real del arca que puede ser expuesto y la recreación realizada, se decidió incorporar también vídeos que mostraran la fotogrametría de las piezas singulares reales restauradas, tales como la cabeza de gorgona o las de los leones, como recoge la Figura 8 como ejemplo. De esta forma se pretende lograr un producto audiovisual final mucho más completo e informativo del creado en la etapa anterior, y mucho más acorde al carácter divulgativo que se le deseaba otorgar al vídeo.

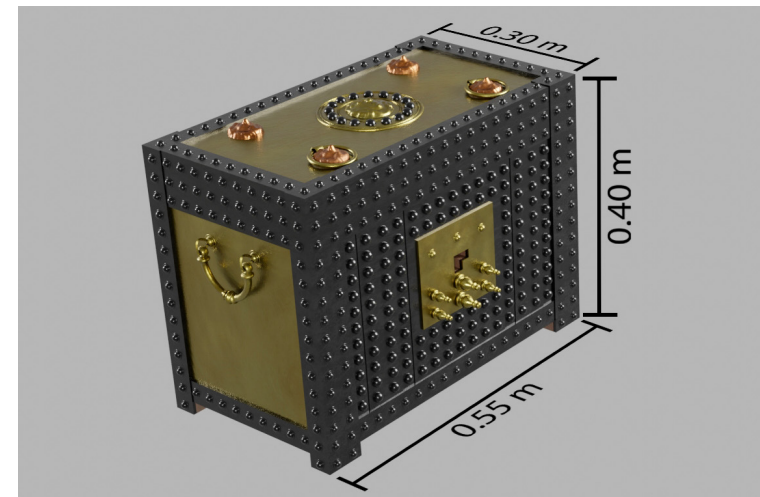


Fig. 7. Fotograma ya postprocesado que muestra las dimensiones del *arca ferrata* reconstruida.



Fig. 8. Fotograma ya postprocesado que muestra la reconstrucción virtual del relieve de la gorgona junto con la fotogrametría del elemento recuperado.

Se utilizó el vídeo generado en *Blender*, añadiéndose pausas en aquellas imágenes o tomas donde se debía mostrar información en forma de texto u otros recursos extra como vídeos de las fotogrametrías de algunos de los elementos reales. Además, se utilizó el programa *Adobe Premiere Pro*, al estar el equipo investigador familiarizado con él mismo. No se contempló el uso de programas más complejos para añadir efectos, tales como *After Effects*, debido a la sencillez de los efectos a introducir.

Finalmente, se añadió una melodía suave que acompañará a todo el vídeo otorgando una homogeneidad al producto final. El vídeo final mantiene calidad, formato y fotogramas por segundo fijados en la etapa anterior. La exportación en el formato H264 o mp4 reduce considerablemente el peso y tamaño del producto audiovisual final para su posible integración en la página web del Museo de Burgos. En la actualidad el video está disponible para su visualización en una página web propia<sup>3</sup>.

### CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

La reconstrucción virtual del *arca ferrata* de Buniel presentada en este artículo no pretende ser más que una invitación al diálogo, máxime con lo limitado de los restos conservados de la pieza original. A pesar de la libertad con la que se contaba dado el estado

de la pieza, la reconstrucción se ha pretendido hacer desde una justificación coherente y razonada de cada una de las decisiones tomadas, permitiendo, de esta forma, rebatir las mismas y abrir nuevas soluciones al entendimiento de este tipo de piezas tan singulares. En este caso concreto, el uso de ciertas soluciones técnicas, como el desarrollo de texturas procedimentales para los distintos materiales que componen el arca, modelado 3D mediante escultura para los elementos más singulares y la inclusión de vídeos de las piezas originales fotogrametriadas en la postproducción del vídeo, pretenden facilitar el entendimiento del proceso de reconstrucción virtual realizado y resaltar la belleza de la posible apariencia original de esta pieza.

Pero, si bien la reconstrucción realizada puede parecer arriesgada, parece ser la única solución que permite acercar este tipo de restos arqueológicos tan limitados en su estado actual a la población no especializada, potenciando así su interés por conocer y entender mejor épocas pretéritas de la Humanidad, además de los objetos de uso cotidiano de cada etapa/sociedad. Además, con la creación de material multimedia, como vídeos explicativos en este caso concreto, a partir de la reconstrucción virtual realizada, se pretende dotar a los museos actuales de un fin más allá del almacenaje y exhibición de las piezas más sobresalientes: el auténtico acercamiento del pasado y las lagunas que existen para su interpretación a toda la sociedad.

Finalmente, cabe señalar que la reconstrucción aquí presentada adolece de la integración del mecanismo de cierre y apertura del arca, objetivo que se ha reservado para una segunda versión de la reconstrucción, debido a la complejidad de este mecanismo y al estado de conservación de las piezas que lo componen. Además, una vez completo el mecanismo de cierre, se integrará el modelo 3D en una aplicación interactiva en Realidad Virtual que pueda ser jugada a modo de juego educativo en el Museo de Burgos.

<sup>3</sup> Véase: <https://xrailab.es/cases/arca-ferrata/>

## BIBLIOGRAFÍA

- Andersson, Espen B. 2022. “The Economic Centre of Pompeii Revealed by Roman Cash Keeping”, Heinzelmann, Michael; Bentz Martin (coords.), Sessions 2-3, Single Contributions, (Archaeology and Economy in the Ancient World: Proceedings of the 19th International Congress of Classical Archaeology, Colonia/Bonn, 2018), Heidelberg: Propylaeum. (<https://doi.org/10.11588/propylaeum.999>).
- Arnaiz Alonso, Miguel A.; Gorostiza Gonzáles, M.; Delgado Arceo, M. E. y Villanueva Martín, L. A. (2020): “Recipientes metálicos procedentes de la villa de El Molino de Arriba (Buniel, Burgos): función y alcance social “ Actas Congreso Internacional . Las Villas Romanas Bajoimperiales de Hispania. Palencia; 533-543.
- Beltrán Lloris, Miguel; Paz Peralta, Juan Ángel (2002), “III. Las excavaciones arqueológicas”. Caesaraugusta, 76. Las aguas sagradas del Municipium Turiaso: 36-258.
- Bertelli, Carlo y Bonsanti Giorgio. 2016. “Cassaforte con sacrificio a Giove”, Restituzioni 2016. Tesori d’arte restaurati, XVII ediz. Intesa San Paolo. Marsilio, Milano, 62-67.
- Bockius, Roland. 2021. “Ein punischer Holzarkophag (?) im Römisch-Germanischen Zentralmuseum”. Archäologisches Korrespondenzblatt, 51, 221-236.
- Checa David; Bustillo Andrés. Advantages and limits of virtual reality in learning processes: Briviesca in the fifteenth century, Virtual Reality London, 1359-4338, (2020), 24(1), 151-161.
- Croom, Alexandra T. 2007. Roman furniture, The History Press. ISBN 9780752440972.
- De Carolis, Ernesto. 2007. “Il mobile a Pompei ed Ercolano”, Studia Archaeologica, 151, L’Erma di Bretschneider, Roma.
- González Pena, María L., 2004: «El arca ferrata. Tratamiento de conservación-restauración», en Beltrán Lloris, M., Ortiz Palomar, M.E., Paz Peralta, J.A., Las aguas sagradas del Municipium Turiaso. Excavaciones en el patio del Colegio Joaquín Costa (antiguo Allué Salvador), Tarazona, Zaragoza, Caesaraugusta, 76, Zaragoza, 373-421.
- Lagi, Adele 2013. “Città Vesuviane Antichità E Fortuna Il Suburbio E L’agro Di Pompei, Ercolano, Oplontis E Stabiae Istituto Della Enciclopedia Italiana Fondata Da Giovanni Treccani, Roma, 1-92.
- Li, Jingjing; Zheng, Ikumu; Xiaoyang, Watanabe y Ochiai Yoichi. 2024. “A systematic review of digital transformation technologies in museum exhibition”. Computers in Human Behavior, 108407, 1-87.
- Beltrán Lloris, Miguel; Paz Peralta, Juan Ángel. 2002. “III. Las excavaciones arqueológicas”. Caesaraugusta, 76. Las aguas sagradas del Municipium Turiaso: 36-258.
- López de Calle Cámara, Carlos y Tudanca Casero, Juan Manuel. 2000. “Calagurris Iulia Nassica: Evidencias de incendio en el sector norte de la ciudad altoimperial”. Estrato: Revista riojana de arqueología, n.º 11: 42-54.
- Melillo, Luigia. 2016. “Area vesuviana. Cassaforte con sacrificio a Giove”, Revista Restituzioni, 70-76.
- Mols, Stephan. 2007-2008: “Ancient roman household furniture and its use from Herculaneum to the Rhine”, Anales de prehistoria y arqueología, 23-24: 145-160.
- Mols, Stephan. 2020. “Wooden Furniture in Herculaneum. Form, Technique and Function”. Circumvesuviana, Volume: 2, Amsterdam.
- Moreno Alcaide, Manuel. 2013. “Reconstrucción virtual del mobiliario doméstico romano a través de las fuentes antiguas”. VAR. Volumen 4 Número 9: 58-62.
- Palol, Pedro de. y Cortés, Javier.: La villa romana de La Olmeda, Pedrosa de la Vega). Excavaciones de 1969 y 1970. Acta Arqueológica Hispánica 7 (1974).
- Pascual Sánchez, María Á.; Lara Medina, Macarena; Bejarano Osorio, Ana M.; y Bustamante Álvarez, Macarena. 2023. “El proceso de extracción del arca metálica del ambiente 11 de la Casa del Mitreo. Fase 1”, en La Casa del Mitreo de Augusta Emerita, Mérida”, Consorcio Ciudad Monumental Histórico-Artística y Arqueológica de Mérida, 487-498.
- Prisco, Gabriella; Fossà, B.; Ferrari, S.; Federico, S.; Giglio, A.; Schneider, K.; Scarpitti, P.; Priori, G.; Talarico, F. Y Villa, I.M., 2014: “La cassaforte della casa dei Vettii a Pompei. Dalla scoperta al restauro”, Bolletino Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro, 28: 68-86.
- Remotti, Esmeralda; Fiesoli, F. y Gennai, F. 2010. Dallo scavo in laboratorio all’intervento conservativo: un caso studio, Gradus. Rivista di Archeologia, Restauro e Beni Culturali, 5: 23- 30.
- Riha, Emilia. 2001. “Kästchen, Truhen, Tische – Möbelteile aus Augusta Raurica”. Forschungen in Augst, 31: 1-200.
- Rodríguez Adelaida, Ruiz Vélez, Ignacio. 2020. “Peines de cardar, o cardaderas, de la villa romana de Molino de Abajo, Buniel (Burgos)”, Estudios y recuerdos In Memoriam Prof. Emilio Illarregui Gómez / coord. por Cesáreo Pérez González 235-246 Árbol académico, Pablo Arribas Lobo, Olivia Reyes Hernando, 2020, ISBN 978-84-09-18073-8: 235-246.

- Rodríguez-García, Bruno, Guillen-Sanz, Henar, Checa, David, Bustillo, Andrés. 2024. "A systematic review of virtual 3D reconstructions of Cultural Heritage in immersive Virtual Reality". *Multimededia Tools and Applications*: 1-51. <https://doi.org/10.1007/s11042-024-18700-3>.
- Schmauder, Michael y Stiller, Frank. 2004. Römische Kastchenbeschiäge Aus Buntmetall Im Römisch-Germanischen Museum Köln, *Kölner Jahrbuch* 37: 137-221.
- Thomas Davis. 2014. A typology of roman locks and keys, Southwestern Baptist Theological Seminary, Tesis doctoral.
- Villanueva, Luis A. y Delgado, María E. 2012. "Memoria final de la excavación arqueológica en el yacimiento de molino de arriba (Buniel). Actuación integrada en el proyecto de construcción de la plataforma del corredor norte-noroeste de alta velocidad. Línea Valladolid-Burgos. Tramo: Estépar-variante ferroviaria de Burgos". ANTEQUEM, Arqueología y Medio Ambiente, S.L., Memoria Técnica inédita, Junta de Castilla y León.