

MetalEspaña 2020/2021

III Congreso de Conservación y Restauración del Patrimonio Metálico

Joaquín Barrio Martín
Milagros Buendía Ortuño (eds.)

SECYR >>>
Servicio de Conservación, Restauración y Estudios Científicos del Patrimonio Arqueológico



MINISTERIO DE CULTURA Y DEPORTE

ARQVA

Museo Nacional de Arqueología Subacuática



MUSEO
CASA DE LA MONEDA

UAM Universidad Autónoma de Madrid

Anejos nº 6 | 2022

Departamento de Prehistoria y Arqueología
Facultad de Filosofía y Letras,
Vicerrectorado de Investigación
Universidad Autónoma de Madrid

Cuadernos
de Prehistoria
y Arqueología
de la Universidad Autónoma de Madrid

MetalEspaña 2020/2021

III Congreso de Conservación y Restauración del Patrimonio Metálico

Joaquín Barrio Martín
Milagros Buendía Ortuño
(eds.)



Universidad Autónoma
de Madrid

Departamento de Prehistoria y Arqueología
Facultad de Filosofía y Letras
Vicerrectorado de Investigación
Universidad Autónoma de Madrid

Índice

Presentación	15
SESIÓN I. CIENCIA Y TECNOLOGÍAS DE INVESTIGACIÓN DEL PATRIMONIO METÁLICO	
Electrochemical techniques for dating metallic heritage	21
Técnicas electroquímicas para la datación del patrimonio metálico	
ANTONIO DOMÉNECH-CARBÓ	
Caracterización, diagnóstico y conservación de los lingotes de cobre del Pecio Arapal (Sancti Petri, Cádiz)	29
Characterization, diagnosis and conservation of copper ingots from the Arapal Wreck (Sancti Petri, Cadiz)	
ROCÍO MORÓN, MARÍA LLÜISA MATAS, LUIS CARLOS ZAMBRANO, FELIPE CEREZO Y MANUEL BETHENCOURT	
Estrategias innovadoras para la conservación preventiva de los objetos metálicos en colecciones de museos	39
Innovative strategies for the preventive conservation of metallic objects in museum collections	
MARÍA TERESA MOLINA, BLANCA RAMÍREZ, IVÁN DÍAZ Y EMILIO CANO	
Estudio de la efectividad del ácido tánico sobre piezas de hierro arqueológico	47
Study of the effectiveness of tannic acid on archaeological iron pieces	
TANIA PÉREZ TORDERA, ANTONIO DOMÉNECH-CARBÓ Y MONTSERRAT LASTRAS PÉREZ	
Estudio radiográfico de los metales arqueológicos de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz)	55
Radiographic study of the archaeological metals of Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz)	
INMACULADA DONATE, MIRIAM BUESO, ESTHER RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, SEBASTIÁN CELESTINO Y JOAQUÍN BARRIO	
Extrapolación de técnicas no habituales en la reproducción de elementos metálicos asociados al Patrimonio Documental	65
Extrapolation of unusual techniques in the reproduction of metallic elements associated with Documentary Heritage	
ÍÑIGO GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, JUAN BERMEJO-SOLER, ESTÍBALIZ LAMA OCHOA Y M ^a DOLORES RODRÍGUEZ LASO	

Aportación de la técnica FIB-FESEM-EDX al estudio del patrimonio en metal	71
Contribution of FIB-FESEM-EDX technique to the study of Metal Heritage	
CARLA ÁLVAREZ ROMERO, CAROLINA MAI CEROVAZ, MARÍA TERESA DOMÉNECH-CARBÓ, ANTONIO DOMÉNECH-CARBÓ, MILAGROS BUENDÍA ORTUÑO Y TRINIDAD PASÍES OVIEDO	
Nueva metodología para la eliminación de la corrosión en patrimonio metálico arqueológico: buffers, quelantes, geles y emulsiones	81
New methodology for the elimination of corrosion in archaeological metal heritage: buffers, chelators, gels and emulsions	
SILVIA MARÍN ORTEGA	
Medida directa de potenciales de circuito abierto como técnica no invasiva de evaluación del grado de corrosión de objetos arqueológicos	87
Direct measurement of open circuit potentials as a non-invasive technique for evaluating the degree of corrosion of archaeological objects	
MARÍA AMPARO PEIRÓ RONDA Y ANTONIO DOMÉNECH-CARBÓ	
Restauración virtual y recreación de uno de los jarros de bronce de la estancia del banquete (S-1) del yacimiento de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz), los medios digitales como continuidad de la restauración física	97
Virtual restoration and recreation of one of the bronze jugs from the banquet room (S-1) from the Casas del Turuñuelo site (Guareña, Badajoz), digital media as continuity of the physical restoration	
BÁRBARA MARTÍN GÓMEZ, ESTHER RODRÍGUEZ GONZÁLEZ Y SEBASTIÁN CELESTINO	
Estudio arqueológico y restauración de espuelas bajomedievales de Asturias	107
Archaeological study and restoration of late medieval spurs in Asturias	
SILVIA PÉREZ-DIEZ, BEATRIZ GARCÍA-ALONSO, LUIS J. FERNÁNDEZ-MENÉNDEZ, LARA LOBO, NEREA BORDEL, MAITE MAGUREGUI, NOELIA FERNÁNDEZ-CALDERÓN Y ALEJANDRO GARCÍA ÁLVAREZ-BUSTO	
Sesión II. MONEDAS Y PATRIMONIO NUMISMÁTICO: ESTUDIOS, PROYECTOS, RESTAURACIONES Y MUSEOS	
El Museo Casa de la Moneda. La colección de moneda islámica	117
The Museo Casa de la Moneda. The Islamic Coin Collection	
ALBERTO J. CANTO GARCÍA	
Composición y características de la acuñación de dos cecas hispanorromanas: análisis aplicados a las monedas de <i>Caesar Augusta</i> (Zaragoza) y <i>Emerita Augusta</i> (Mérida)	129
Composition and characteristics of the coinage of two Hispano-Roman mints: analysis applied to the coins of <i>Caesar Augusta</i> (Zaragoza) and <i>Emerita Augusta</i> (Merida)	
CRUCES BLÁZQUEZ CERRATO, MARTA GÓMEZ BARREIRO, JOSÉ MANUEL COMPAÑA PRIETO, JUAN GÓMEZ BARREIRO, CARMELO FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, RUFO MARTÍN MATEO E INÉS PUENTE ORENCH	

<p>Patrimonio Industrial en el Museo de la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre de Madrid. Su conservación 139</p> <p>Industrial Heritage in the Museum of the Fábrica Nacional de Moneda y Timbre of Madrid. Its conservation</p> <p>SARA MARTÍN DE ANDRÉS Y BEATRIZ RUBIO VELASCO</p>	139
<p>La moneda en las <i>cetariae</i> de <i>Gadir-Gades</i> 149</p> <p>The coin in the <i>cetariae</i> of <i>Gadir-Gades</i></p> <p>ELENA MORENO PULIDO, ALICIA ARÉVALO GONZÁLEZ Y JOSÉ ÁNGEL EXPÓSITO ÁLVAREZ</p>	149
<p>Los criterios de intervención y el análisis científico en la restauración de un conjunto de monedas de plata emirales del yacimiento arqueológico La Ermita del Sacedal, en El Rebollar de El Boalo (Madrid) 159</p> <p>Intervention criteria and scientific analysis in conservation of a set of Emiral silver coins from the archaeological site La Ermita del Sacedal, el Rebollar de El Boalo (Madrid)</p> <p>ANA ISABEL PARDO NARANJO, MARÍA CRUZ MEDINA SÁNCHEZ Y MANUEL BLANCO DOMÍNGUEZ</p>	159
<p>El tesoro de monedas de plata de las taifas del siglo XI hallado en Jaén en 1914: proceso de restauración 167</p> <p>The treasure of silver coins from the taifa of the 11th century found in Jaen in 1914: restoration process</p> <p>ALBERTO J. CANTO GARCÍA, WIOLETA JABŁOŃSKA Y ANA ISABEL PARDO NARANJO</p>	167
<p>Tratamiento de conservación-estabilización aplicado al conjunto numismático recuperado de la Fragata <i>Nuestra Señora de las Mercedes</i> 177</p> <p>Conservation and stabilization treatment applied to numismatic set recovered from the frigate <i>Nuestra Señora de las Mercedes</i></p> <p>SOLEDAD DÍAZ MARTÍNEZ</p>	177
<p>Moneda y circulación monetaria en el ámbito minero del reborde meridional de la meseta sur. Un proyecto de investigación en marcha 185</p> <p>Currency and monetary circulation in the mining area of the southern edge of the southern plateau. An ongoing research project</p> <p>MAR ZARZALEJOS PRIETO Y ALICIA ARÉVALO GONZÁLEZ</p> <p>Con la colaboración de: JOAQUÍN BARRIO MARTÍN Y ANA ISABEL PARDO NARANJO</p>	185
<p>Intervención de urgencia de conjunto de monedas y vajilla de bronce de Pompeya. Una restauración de campaña junto al Vesubio 195</p> <p>Urgent intervention of a set of coins and bronze tableware from Pompeii. A campaign restoration next to Vesuvius</p> <p>BETLEM MARTÍNEZ PLA</p>	195
<p>Restauración y conservación de un conjunto de monedas (La Bienvenida) 205</p> <p>Restoration and conservation of a set of coins (La Bienvenida)</p> <p>FRANCISCO DEL PESO ROSADO</p>	205

SESIÓN III. PATRIMONIO METÁLICO ARQUEOLÓGICO

La experiencia de conservar metales: una labor de aprendizaje continuo The experience of preserving metals: a work of continuous learning MARÍA ANTONIA MORENO CIFUENTES	213
Conservación. Propuesta metodológica para un caso práctico en el Pórtico Oriental de Plaza de Armas en <i>Madīnat al-Zahrā</i> (Córdoba) Conservation. Methodological proposal for a practical case in the Portico Oriental of the Plaza de Armas in <i>Madīnat al-Zahrā</i> (Córdoba) INMACULADA C. MUÑOZ MATUTE Y ALEJANDRA DEL PINO CAMPOS	223
Arqueología y Restauración: un caso práctico en el Pórtico Oriental de la Plaza de Armas de <i>Madīnat al-Zahrā</i> (Córdoba) Archaeology and Restoration: A practical example of the Pórtico Oriental of the Plaza de Armas in <i>Madīnat al-Zahrā</i> (Córdoba) MARÍA MUÑOZ MORA, WIOLETA JABŁOŃSKA Y ALEJANDRO UGOLINI SÁNCHEZ-BARROSO	231
Ciudad de México: un entorno excepcional para la corrosión de metales arqueológicos. Estudio de caso Mexico City: an exceptional environment for archaeological metal corrosion. Case study ÁNGEL ERNESTO GARCÍA ABAJO, TERESITA LÓPEZ ORTEGA Y JOSÉ ANTONIO LÓPEZ PALACIOS	239
Conservación y estudio arqueológico de piezas ibéricas y vacceo-romanas de bronce y hierro procedentes de <i>Dessobriga</i> (Palencia) Conservation and archaeological study of Iberian and Vacceo-Roman bronze and iron pieces from <i>Dessobriga</i> (Palencia) ÁGUEDA SÁENZ-MARTÍNEZ, FRANCISCO DEL PESO-ROSADO, ESPERANZA MARTÍN-HERNÁNDEZ Y DAVID EXPÓSITO	249
Decoración incisa bajo siglos de corrosión metálica Incised decoration under centuries of metallic corrosion LUCÍA GUTIÉRREZ GONZÁLEZ	257
El conjunto de estatuillas de bronce de la Tumba n.º 14, Oxirrinco (El-Bahnasa), Egipto The set of bronze statuettes from Tomb no. 14, Oxirrinco (El-Bahnasa), Egypt BERNAT BURGAYA MARTÍNEZ	269
Estado de conservación y metodología de intervención de una selección de bronce del yacimiento Casas del Turuñuelo State of conservation and intervention methodology of a selection of bronzes from the archaeological site Casas del Turuñuelo MARÍA CRUZ MEDINA SÁNCHEZ, MARÍA MUÑOZ MORA Y JOAQUÍN BARRIO MARTÍN	279

Un ataque microbiológico en objetos de hierro de época ibérica: proyecto interdisciplinar de investigación, intervención y conservación preventiva	289
A microbiological attack on iron objects from the Iberian period: interdisciplinary research, intervention and preventive conservation project	
RAMÓN CANAL ROCA, TRINIDAD PASÍES OVIEDO, JAIME VIVES-FERRÁNDIZ SÁNCHEZ, M ^a TERESA DOMÉNECH-CARBÓ, ROSA M ^a MONTES ESTELLÉS, JOSÉ ANTONIO MADRID GARCÍA Y ANTONIO DOMÉNECH-CARBÓ	
Propuesta para la conservación de una amplia colección de objetos arqueológicos de hierro	299
Proposal for the conservation of a wide collection of iron archaeological objects	
LAURA GARCÍA BOULLOSA	
Sistema expositivo en la colección de metales del Museo Foro Romano. Molinete (Cartagena)	309
Exhibition system in the metal collection of the Roman Forum Museum. Molinete (Cartagena)	
IZASKUN MARTÍNEZ PERIS	
Trabajos de conservación-restauración de cuatro tuberías de plomo de la ciudad romana de <i>Baetulo</i> (Badalona). Un caso de estudio interdisciplinar	319
Conservation-restoration work on four lead pipes in the Roman city of Baetulo (Badalona). An interdisciplinary case study	
ANNA BERTRAL ARIAS, ESTHER GURRI COSTA Y SANTIAGO RIERA MORA	
Métodos de limpieza sobre metales arqueológicos procedentes de medios marinos: clavos de hierro originarios del Pecio de Urbieta (Gernika, Vizcaya)	329
Cleaning methods on archaeological metals from marine environments: iron nails from the Urbieta Wreck (Gernika, Vizcaya)	
SARA MASTRAL-MOLINOS, AINARA ZORNOZA-ÍNDART, LAURA GARCÍA Y GIORGIO STUDER	
SESIÓN IV. PATRIMONIO METÁLICO HISTÓRICO, ARTÍSTICO Y RELIGIOSO	
Acciones de Conservación de Patrimonio Militar de Artillería: de la intervención mínima a la intervención funcional	341
Actions for the Conservation of Artillery Military Heritage: from minimal intervention to functional intervention	
ANAHÍ MEYER RIERA Y JAIME FERREIRA REGALADO	
Construcción de decisiones para la producción y restauración de «El caballito»	351
Decision making for the production and restoration of “El caballito”	
JANNEN CONTRERAS VARGAS	

Estudio de la colección de objetos metálicos de la Villa Rica de la Veracruz (Veracruz) 361
 Study of the collection of metallic objects of the Villa Rica de la Veracruz (Veracruz)

ÁNGEL ERNESTO GARCÍA ABAJO, JANNEN CONTRERAS VARGAS,
 DANIELA LIRA PACHECO Y GABRIELA PEÑUELAS GUERRERO

Patologías y restauración del grupo escultórico de la fuente de las Tres Gracias de Málaga 371
 Pathologies and restoration of a sculpture group in the fountain Tres Gracias at Malaga

DANIEL MORALES-MARTÍN, FERNANDO AGUA, MANUEL GARCÍA-HERAS,
 RAFAEL RUIZ DE LA LINDE Y M^a ÁNGELES VILLEGAS

Intervención sobre una empuñadura de una espada ropera procedente del sitio histórico de Panamá Viejo (Panamá): estado de conservación, análisis y restauración 379
 Intervention in the hilt of a rapier sword at the historic site of Panamá Viejo (Panama): state of conservation, analysis and restoration

BÁRBARA MARTÍN GÓMEZ, CRISTINA CABELLO BRIONES, MANUEL BLANCO DOMÍNGUEZ,
 M^a CRUZ MEDINA SÁNCHEZ, INMACULADA DONATE CARRETERO, JOAQUÍN BARRIO MARTÍN
 Y MARCELINA GODOY VALENCIA

Os pratos em estanho do Rio Arade, estratégias de conservação 387
 Tin dishes from Rio Arade, conservation strategies
 ANDREIA ROMÃO

SESIÓN V. PATRIMONIO METÁLICO CIENTÍFICO, TECNOLÓGICO, INDUSTRIAL Y URBANO

Documentación, conservación y restauración de una fuente escultórica de fundición: La diosa Fortuna de Daimiel (Ciudad Real) 395
 Documentation, conservation and restoration of a foundry sculptural fountain: The goddess Fortuna de Daimiel (Ciudad Real)

M^a ISABEL ANGULO BUJANDA, MANUEL M. BLANCO DOMÍNGUEZ Y MIGUEL TORRES MAS

Diagnóstico del estado de conservación de un conjunto de cepos de plomo de procedencia subacuática: uso de geles rígidos de agar-agar para su intervención 407
 Diagnosis of the conservation status of a set of lead traps from underwater origin: use of rigid agar-agar gels for their intervention

ELISA FERNÁNDEZ TUDELA, LUIS CARLOS ZAMBRANO VALDIVIA Y MANUEL BETHENCOURT

Estudio, caracterización y diagnóstico de una fuente de peltre de procedencia subacuática depositada en el Museo de Cádiz 417
 Study, characterization and diagnosis of a pewter dish of underwater provenance deposited in the Cadiz Museum

MANUEL JESÚS GRUESO JIMÉNEZ Y LUIS CARLOS ZAMBRANO VALDIVIA

<p>La conservación de las culebrinas de bronce recuperadas de la fragata <i>Nuestra Señora de las Mercedes</i></p> <p>The conservation of the bronze culverins recovered from the <i>Nuestra Señora de las Mercedes</i> frigate</p> <p>JUAN LUIS SIERRA MÉNDEZ</p>	427
<p>La Estación Central de Santiago de Chile. Arquitectura metálica y vanguardia decimonónica</p> <p>The Central Station of Santiago de Chile. Metallic architecture and nineteenth-century avant-garde</p> <p>MARÍA PAZ VALENZUELA BLOSSIN</p>	437
<p>Las jardineras tipo Monier en las Galerías Punta Begoña. Degradaciones y proceso de conservación</p> <p>The Monier-type planters in the Punta Begoña Galleries. Degradation and conservation process</p> <p>JUAN BERMEJO-SOLER, ÍÑIGO GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, ESTÍBALIZ LAMA OCHOA, NAGORE PRIETO-TABOADA Y M^a DOLORES RODRÍGUEZ LASO</p>	445
<p>Los inicios de la industria del hierro en Madrid en el siglo XIX: cerramientos de edificios reseñables</p> <p>The beginnings of the iron industry in Madrid in the 19th century: remarkable building enclosures</p> <p>SUSANA LÓPEZ GINESTAL Y SOLEDAD DÍAZ MARTÍNEZ</p>	453
<p>Restauración del Patrimonio Metálico Urbano: la escultura de la Flama Rotaria de la ciudad de Valencia</p> <p>Restoration of the Urban Metallic Heritage: the sculpture of the Rotary Flame of the city of Valencia</p> <p>PABLO GRIÑENA</p>	461
<p>Westfalia Manteigueira com Centrifugadora: desafios e soluções de conservação</p> <p>Westfalia Butter with Centrifuge: challenges and conservation solutions</p> <p>ANDREIA ROMÃO</p>	471

Restauración virtual y recreación de uno de los jarros de bronce de la estancia del banquete (S-1) del yacimiento de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz), los medios digitales como continuidad de la restauración física

Virtual restoration and recreation of one of the bronze jugs from the banquet room (S-1) from the Casas del Turuñuelo site (Guareña, Badajoz), digital media as continuity of the physical restoration

BÁRBARA MARTÍN GÓMEZ

Servicio de Conservación, Restauración y Estudios Científicos del Patrimonio Arqueológico
Departamento de Prehistoria y Arqueología
Universidad Autónoma de Madrid. Campus de Cantoblanco
Calle Francisco Tomás y Valiente, 1. 28049 Madrid
barbara.marting@uam.es

ESTHER RODRÍGUEZ GONZÁLEZ

Instituto de Arqueología (CSIC - Junta de Extremadura)
Plaza de España, 15. 06800 Mérida (Badajoz)
esther.rodriguez@iam.csic.es
<https://orcid.org/0000-0002-5813-9035>

SEBASTIÁN CELESTINO

Instituto de Arqueología (CSIC - Junta de Extremadura)
Plaza de España, 15. 06800 Mérida (Badajoz)
scelestino@iam.csic.es
<https://orcid.org/0000-0002-2050-7090>

Resumen

El jarro en cuestión fue descubierto en el yacimiento tartésico de Casas del Turuñuelo (siglo V-IV a. C.) durante la campaña de 2016. Allí, entre otros materiales, se encontró una jarra de bronce, fragmentada, deformada y colmatada de arenas, limos y arcillas.

Tras la limpieza mecánica se consideró que el jarro presentaba una serie de puntos demasiado debilitados como para soportar el peso de los fragmentos. Debido a este problema se ha optado por realizar una réplica digital para valorar la continuidad de los tratamientos de restauración. A partir de este doble digital se consigue realizar la restauración virtual, que pretende ser una prolongación de la restauración física, limitada por el propio estado de conservación de la pieza.

El modelo se creó a partir de la fotogrametría, una técnica que genera un modelo digital por medio de una exhaustiva documentación fotográfica que, tras ser procesada en diversas fases, permite crear una réplica digital de gran calidad. A partir de este, se ha realizado un soporte a medida para poder colocar expositivamente todos los elementos.

La digitalización ha tenido como objetivo permitir el estudio de la pieza y su manejo sin poner en riesgo su estabilidad y su conservación. Además, ha sido fundamental para las tareas de conservación, restauración y musealización. De igual forma puede ser usado para la divulgación sobre las tareas de restauración en museos, en recreaciones virtuales arqueológicas u otras actividades con fines didácticos y museísticos.

Palabras clave: Tarteso, jarro, fotogrametría, recreación virtual, soporte, conservación

Abstract

This pitcher was found in the tartessian site of Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz, Spain) (5th-4th century BC) in the campaign of 2016 which was focused in the excavation and documentation of the hall and

the room S-1 also called banquet room. Among many other materials discovered, it was found a fragmented bronze pitcher that was really deformed and was fulfilled with sands, silts and clays. Once the mechanical cleaning was finished, it was noticeable that the jar had very thin and weak parts that made impossible so support the weight of the fragments. That is the reason why we decided to make a digital replica to evaluate the continuity of the restoration treatments. From that point it was possible to make a virtual restoration that aims to be an extension to the physical restoration process which was limited by the pitcher's conservation itself.

The 3D model was created from an exhaustive photographical documentation which was processed in different phases and that enabled the creation of a digital replica of high quality. From this point, a suitable support was created for the disposal of the fragments in their adequate position.

The digitalization process aimed to allow the study of this object and its manipulation without risking the stability and conservation of it. It has also been fundamental for conservation, restoration and exhibition tasks. Even more this can be used for restoration divulgation activities within museums, in virtual archaeological recreations or other didactic activities.

Key words: pitcher, tartessian, photogrammetry, virtual reconstruction, support, conservation

1. Contexto arqueológico

La jarra de la que trata el presente trabajo fue descubierta durante la segunda campaña arqueológica realizada en el yacimiento tartésico de Casas del Turuñuelo (siglo V-IV a. C.) en 2016. Esta campaña se centró en la excavación y documentación del vestíbulo y de la habitación S-1 que lo continúa, ambas localizadas en el piso superior del edificio (Rodríguez, 2019: 180-185).

El jarro de bronce apareció fragmentado, deformado y colmatado de arenas, limos y arcillas (figura 1). Procede del nivel de relleno de la estancia del banquete, donde aparece acompañado de un amplio repertorio cerámico dentro del cual destacan las copas de imitación griega para el consumo del vino, los platos pintados o una colección de urnas en miniatura (Rodríguez, 2019: 196).

Entre los objetos de bronce hallados en este espacio destaca la presencia de un juego de anzuelos, una parrilla, un caldero o el extremo de un mango rematado con una piel de toro sobre la que reposan don palomas (Rodríguez, 2019: 184 y 195).

La presencia de estos objetos en la estancia, entre ellos el jarro, ha llevado a los arqueólogos a bautizar este espacio con el nombre de la estancia del banquete y a ponerlo en relación con la celebración de un gran banquete ritual que tuvo lugar antes de la clausura del edificio.

2. Restauración y planteamiento previo

Al finalizar la limpieza mecánica de la superficie exterior e interior del jarro se pudieron ir descubriendo y localizando con detalle diferentes características y alteraciones de la propia superficie que afectaban a la conservación y la estabilidad de la pieza. Características tales como la diferencia de grosor de las paredes del jarro, las zonas remachadas o los defectos de fundición; y patologías como las fisuras, fracturas y deformaciones que presentaban las diferentes partes del cuerpo principal (figura 2).

La inestabilidad del cuerpo mayoritario del jarro (con un peso tras la limpieza de 4552 g) hizo plantear cómo se realizaría la adhesión de los fragmentos sin que el peso de estos recayera sobre los puntos debilitados. Los fragmentos uno y dos (tras la limpieza de 377 y 204 g respectivamente), los de mayor tamaño, se encontraron dentro del paquete de tierras que colmataba el jarro (figuras 2 y 3)



Figura 1. Fotografía del jarro *in situ*. Fotografía de Esther Rodríguez

Figure 1. In situ photography of the pitcher. Photography taken by Esther Rodriguez

y ambos planos de fractura casaban con los del jarro. Sin embargo, por las deformaciones sufridas, el fragmento 2 no presentaba una superficie de conexión suficientemente extensa como para asegurar una adhesión consistente y resistente, y el fragmento 1 queda ladeado, con el peso recayendo sobre una pequeña zona ya de por sí deformada que, de adherirlo, lo que haría sería cargar más tensión sobre este punto debilitado. El tercero de los fragmentos (con 133 g de peso), que encaja en la parte baja interna del jarro, queda descartada su adhesión por quedar muy inestable y se descarta del planteamiento del soporte por estar más oculto y quedar muy separado de los otros dos fragmentos (figura 3).

Debido a estos problemas y con el fin de salvaguardar la estabilidad de la pieza, se decide plantear la digitalización del jarro y los fragmentos para manipularlos sin riesgo y ver así las posibilidades de adhesión y acople sin peligro de dañar o desestabilizar el jarro.

3. Proceso de digitalización

La digitalización se ha realizado a través de la fotogrametría, un método que a partir de la toma de múltiples fotografías (en este caso centenares) en superposición, consigue recrear un objeto en tres dimensiones mediante el solapamiento de puntos convergentes en imágenes tomadas desde diferentes puntos (Charquero, 2016: 141). A partir de estos puntos enlazados se crea un armazón (malla) de toda la superficie y luego una textura de imagen fotorrealista que la «recubre» (Marqués, 2018: 100).

Se eligió este método, y no el escáner 3D con luz estructurada, por el tamaño de la jarra, por la cantidad de superficie interna de difícil acceso para documentar y por el brillo que tiene la superficie del metal, ya que las zonas especulares quedarían distorsionadas al trabajar con el escáner 3D (Hernández, 2016: 314).



Figura 2. Vista frontal de la jarra durante la limpieza y vaciado de los rellenos terrosos del interior
Figure 2. Frontal view of the pitcher during the cleaning and pouring away the inner soil archaeological fills

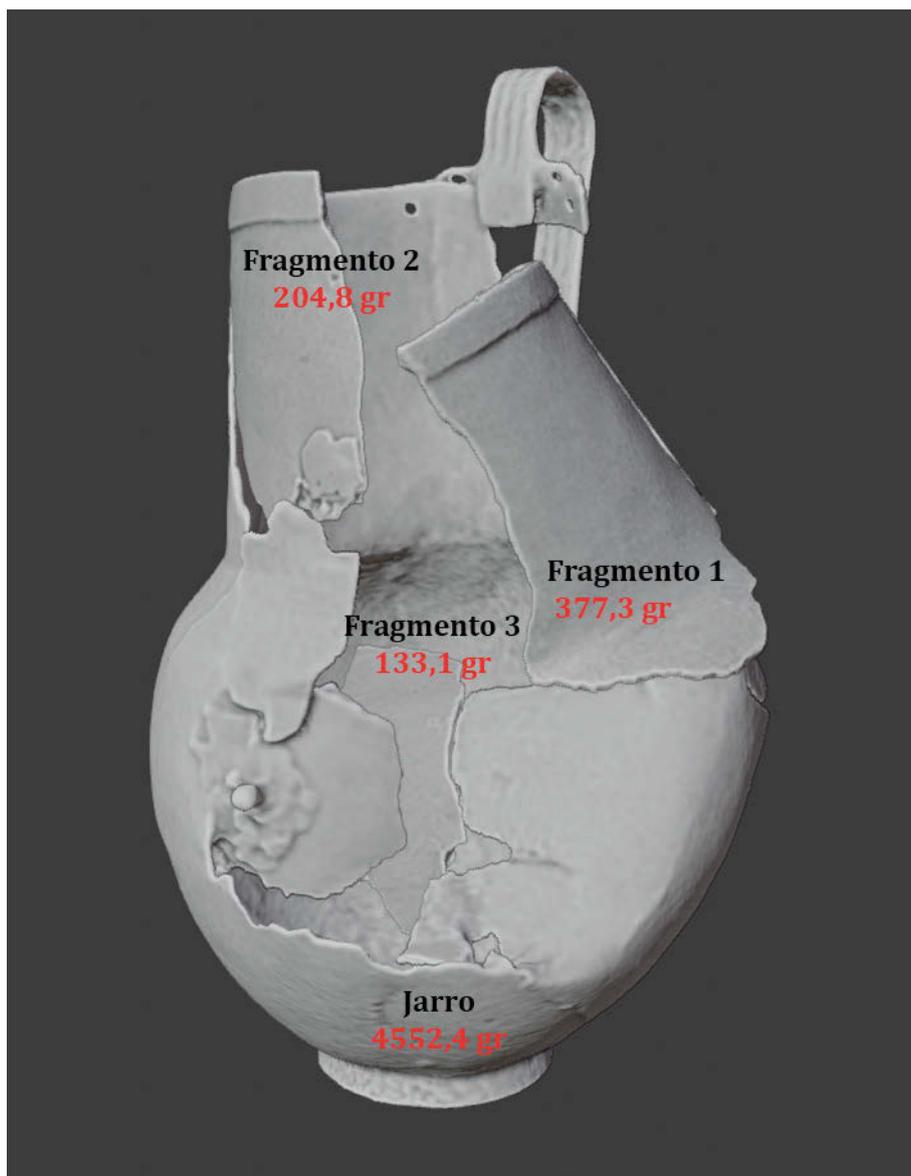


Figura 3. Modelos fotogramétricos de alto poligonaje (*highpoly* HP) en sus posiciones de unión y con los pesos correspondientes

Figure 3. Highpoly (HP) photogrammetric models united by the joint points and with their corresponding weight

La calidad del modelo fotogramétrico depende de las propias fotografías (el número, la resolución o el enfoque que tengan) y de la forma en que se han tomado (que se haya cubierto toda la superficie del objeto, la cantidad de solape que haya entre ellas) así como el tipo de luz y la intensidad en el momento de la captura.

Para conseguir la digitalización completa se ha realizado, por un lado, el cuerpo principal del jarro con un total de 357 fotografías; y, por otro, los tres fragmentos de mayor tamaño de forma individual con un total de 29 fotografías para el primero, 103 para el segundo y 156 para el tercero. Se ha seguido la estrategia de hacer series de fotografías, tanto generales como de detalle, con diferentes ángulos (Marqués, 2018: 100) y en forma de anillos que rodeen las piezas (Gómez, 2018: 14). Las fotografías se tomaron con una cámara réflex con un objetivo zoom de 18-135 mm, en formato jpg y raw, trabajando siempre que es posible con una distancia focal fija y amplia



Figura 4. Modelo fotogramétrico en el proceso orientación de las fotografías a la izquierda y con la nube de puntos densa formada a la derecha

Figure 4. Photogrammetric model in the process of allineation of the photographs on the left and the dense point cloud already formed on the right

(Charquero, 2016: 143), ajustando los parámetros de diafragma, velocidad de obturación, ISO a las condiciones lumínicas del momento de la captura e intentando a su vez, en la medida de lo posible, que haya una luz homogénea general que no genere altos contrastes entre las diferentes partes de la pieza.

Tras la captura, las fotografías son procesadas en diferentes fases con un programa de edición de imagen para descartar partes que no son de interés para la construcción del modelo o zonas que pudieran generar problemas; con él se crean máscaras para facilitar la creación del modelo fotogramétrico (Caro, 2012: 6-7; Gómez, 2018: 17). Luego, al cargarlas en el programa fotogramétrico, este crea una triangulación de puntos que consigue recrear el volumen de la pieza con una gran calidad de detalles.

En este caso, el solape de las imágenes no siempre era el necesario y el programa confundía la parte interna y externa del jarro creando un modelo deforme e irreal, por lo que, para corregir este problema, se tuvieron que colocar unos marcadores en las fotografías para ayudar al programa a saber la orientación correcta de las imágenes y así recrear el volumen del jarro de forma coherente y realista. Lo mismo ocurría con los fragmentos debido al escaso grosor que tenían.

Finalmente, una vez solucionado este problema puntual mediante el uso de marcadores, se ha obtenido la generación del modelo usando 350 imágenes, en el caso del jarro (figura 4), 26 para el fragmento 1, 100 para el fragmento 2 y 155 para el número 3.

El resultado es, por un lado, un modelo digital del jarro *high poly*, compuesto por un archivo con una malla de 1,8 millones de polígonos triangulares con un peso de 100 MB y una textura de imagen en formato tiff de 50 MB, que recoge tanto el relieve y el acabado de las superficies, como el color y sus matices. Y por otro, los modelos independientes de los fragmentos que tienen 179 000 polígonos y un peso de 20 MB aproximadamente cada uno, ambos con una texturas de imagen en formato tiff de 2 MB.

Con este proceso se ha podido crear una copia fiel del original que conserva todos los detalles de las superficies más expuestas, mientras que la morfología del interior se consigue captar, pero con un detalle y número de polígonos mucho menor, ya que no se dispone de la misma información (la falta de fotografías crea una ausencia de polígonos que se refleja en deformaciones bulbosas).

4. Postprocesado y optimización de los modelos 3D

Tras conseguir los diferentes modelos en 3D, resulta imprescindible reducir el peso de los mismos para poder manejar los modelos con más facilidad. Es por esto que tras la digitalización se inicia los trabajos de postprocesado y de optimización de los modelos fotogramétricos.

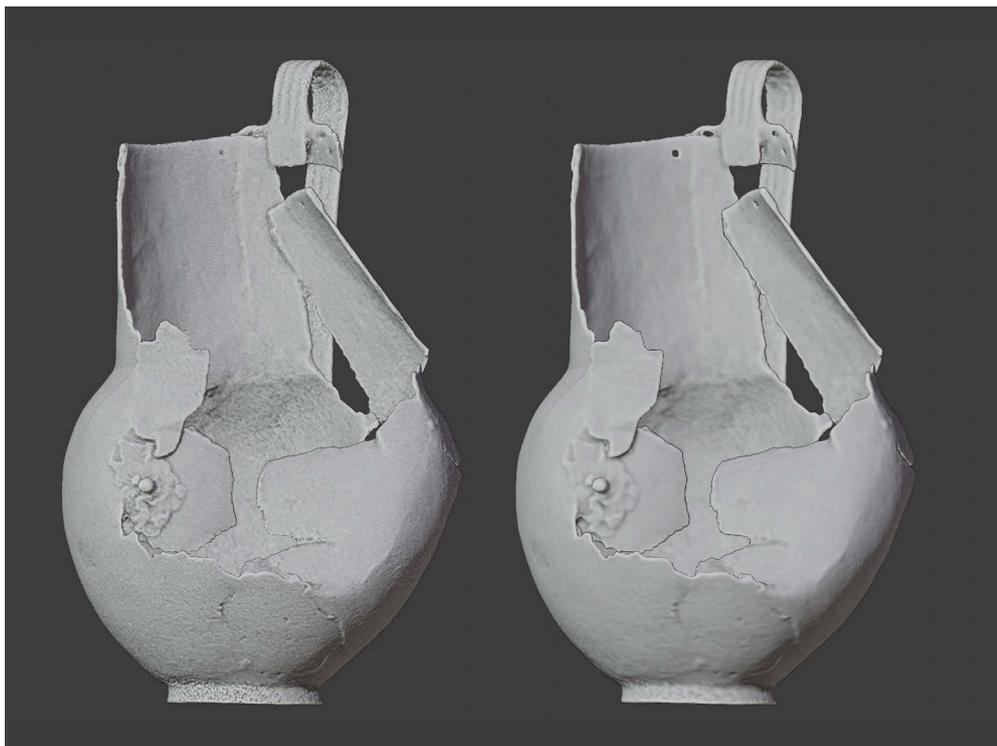


Figura 5. Modelo fotogramétrico de la jarra en visión de material. A la izquierda el modelo *Highpoly*, con mayor detalle de texturas, y a la derecha el modelo *Lowpoly*, más suavizado

Figure 5. Photogrammetric model of the pitcher in material view. On the left the *Highpoly* model, with better texture details, and on the right the *Lowpoly* model with a softened surface

Tales trabajos consistieron primeramente en reducir el poligonaje de los modelos para disminuir así su tamaño sin que ello les reste calidad. Al mismo tiempo que se reduce el número de polígonos, se cambia su morfología, sustituyendo los triángulos (*tris*) por polígonos de cuatro vértices (*quads*), que permiten tener una estructura más ordenada y en la que es más fácil trabajar (figura 6).

Resultó difícil tener documentación fotográfica de calidad de la parte interna por las propias deformaciones de la pieza que dificultaban ese proceso. Como se ha mencionado anteriormente, no se pudo registrar de manera detallada la parte interna, por lo que la malla resultante en esta zona se ha generado con multitud de protuberancias y deformaciones que con el proceso de optimización se tuvieron que rectificar y recrear digitalmente. De igual forma que genera ese poligonaje en exceso por la falta de documentación en esa zona, también puede generar oquedades o vértices escondidos que luego se deben buscar y corregir, cerrándolos y eliminándolos en cada caso.

Con las texturas de imagen también se ha tenido que llevar a cabo un proceso de optimización para reducir su peso, pero sin perder la calidad para que con ellas se pueda suplir la pérdida de geometría; es decir, la falta de detalle del modelo *lowpoly* se suple con una serie de imágenes de gran detalle y definición. Estas imágenes o texturas de imágenes que aportan ese detalle son: la textura que reproduce el color (Mapa de color o *Diffuse Map*), la textura que reproduce el relieve de la superficie (Mapa de normales o *Normal Map*), la textura que reproduce el brillo (*Roughness Map*) y la textura que reproduce la oscuridad de zonas más ocultas (Mapa ambiental o *Ambient Occlusion Map*). A pesar de tener más texturas, al tener menor peso, se consigue el mismo efecto.

Con el proceso de optimización se ha conseguido reducir los modelos fotogramétricos a: en el caso del jarro 250 000 polígonos y 38 MB (incluso se podría haber conseguido un número menor) y cuatro imágenes en formato jpg con un peso total de 2 MB; en el caso de los fragmentos, el primero

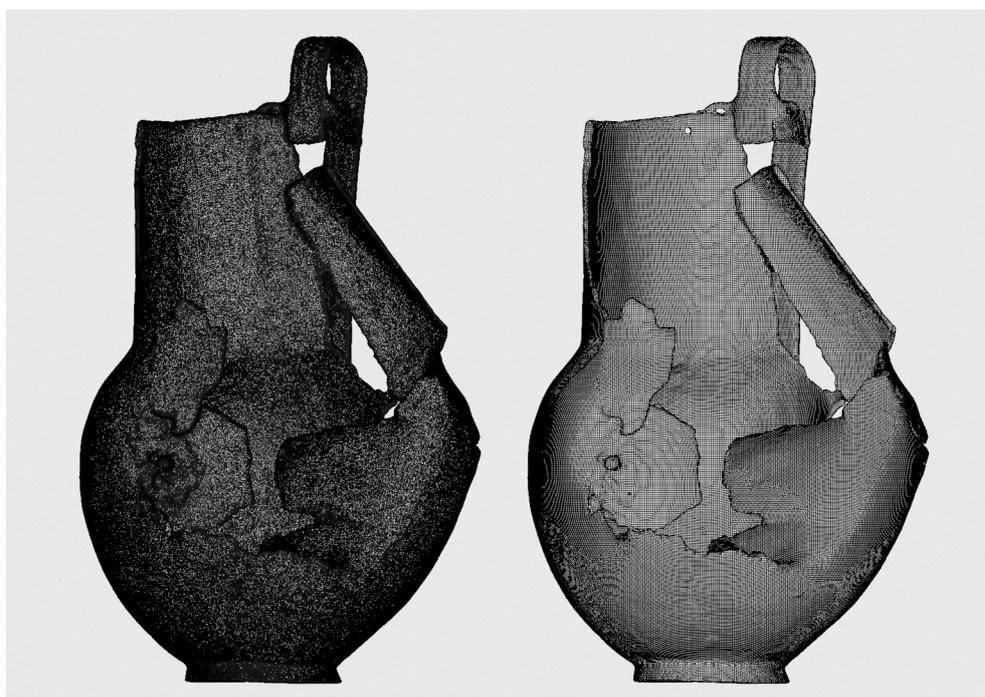


Figura 6. Modelo fotogramétrico en visión de polígonos. A la izquierda el modelo *Highpoly* con mayor densidad de polígonos y a la derecha el modelo *Lowpoly* con menor densidad de polígonos y la malla ordenada

Figure 6. Photogrammetric model in polygon view. On the left the Highpoly model with higher polygon density and on the right the Lowpoly model with lower polygon density and an organized mesh

posee 76 000 *quads* y un tamaño de 10 MB y cuatro imágenes en formato jpg de 5,2 MB; el segundo tiene 48 000 polígonos con un tamaño de 6,8 MB y cuatro imágenes de 6,2 MB y el tercer fragmento contiene un total de 36 000 polígonos con un tamaño de 5 MB y cuatro imágenes de 6,2 MB.

En conjunto el modelo optimizado, formado por el jarro y los tres fragmentos, obtuvo un peso total de 80 MB, frente a los más de 200 MB de los que se partía al comienzo. El resultado es un modelo digital de gran calidad con un poligonaje reducido (*low poly*) que conserva los detalles del modelo de alto poligonaje (*high poly*) gracias al trabajo con varias texturas (figuras 5 y 6).

5. Restauración digital

Esta fase consistió en la colocación de los fragmentos dentro del software de edición 3D en los planos de fractura donde encajaban. De esta forma se ha podido estudiar y evaluar de forma simultánea la estabilidad de todas las partes que se conservan del jarro, su posición y alineación, examinando así las posibilidades de unión.

Así, se pudo comprobar, sin tener que hacerlo físicamente, que en el caso del primer fragmento, había el riesgo de que ante una adhesión permanente otras partes de la pared de la jarra pudieran sufrir tensiones; y en el del segundo, que, debido al escaso contacto que había en el plano de fractura, la adhesión fuese muy débil. Por eso, se decidió que lo mejor para asegurar la estabilidad de la pieza en su conjunto es no realizar ninguna adhesión permanente.

En su lugar, y gracias a la réplica digital, se ha optado por diseñar un soporte en 3D formado por tres partes que permitirá que los fragmentos se mantengan en su posición sin necesidad de su unión

definitiva. Esto permitirá la separación fácil de los fragmentos, ya sea por motivos de estudio, o por traslado y almacenaje.

Tanto el modelo como el soporte se pueden ver en la plataforma de Sketchfab, en el siguiente enlace: <<https://sketchfab.com/3d-models/jarro-de-bronze-tartésico-0c2b1f79408b48c798a160308e189983>>.

6. Continuidad futura

Ahora mismo este planteamiento de unión y soporte se encuentra aún en fase de realización, estudiando las resinas más aptas que se encuentran en el mercado para imprimir el soporte. Una de las más comunes son las denominadas PLA, compuestas fundamentalmente por un ácido derivado del maíz, el ácido poliláctico, un material polimérico biodegradable. De forma general, se deberá buscar una resina lo suficientemente rígida y resistente que pueda soportar el peso de los fragmentos y que, también, sea estable y no pueda producir alteraciones sobre la superficie del metal.

Actualmente se están haciendo pruebas de impresión con este material en el centro Segainvex (Servicios Generales de Apoyo a la Investigación Experimental) de la Universidad Autónoma de Madrid, viendo las partes débiles del propio soporte y haciendo las correcciones y modificaciones necesarias que nos indican los técnicos.

7. Conclusiones y proyección futura

Esta réplica digital permite el estudio preliminar tanto del jarro como de sus peculiaridades sin tener que manipularlo directamente. Además, lo acerca a estudiantes e investigadores de disciplinas afines, así como al público en general, que va a poder observarla en 360° sin el riesgo de manipulación que ello supondría.

La realización de este modelo 3D es también un nuevo método de documentación fotográfica de los tratamientos de conservación y restauración, una máxima dentro de esta disciplina científica.

Otro objetivo primordial es la difusión, tanto de los trabajos de conservación como de los de arqueología. Este recurso digital que se ha creado permite reseñar y sensibilizar sobre los trabajos arqueológicos de campo que se tienen que hacer para documentar el patrimonio subterráneo, así como de los trabajos de conservación y restauración, generalmente en laboratorio, que se deben llevar a cabo para conservar, comprender y poner en valor ese patrimonio arqueológico recuperado.

Todo ello va encaminado a la divulgación y el disfrute de un bien arqueológico, la puesta en valor de los trabajos que se realizan en el ámbito de los bienes culturales arqueológicos, tanto de conservación, como restauración, arqueología, historia o ciencias analíticas y la sensibilización del público para su preservación de este y otros en el futuro.

Agradecimientos

Agradecemos especialmente a Laura Gómez Morgado su ayuda y sus buenos consejos en todo el largo proceso que implica la digitalización de un objeto y al equipo del SECYR, a M^a Cruz Medina, Cristina Cabello, Manuel Blanco y Joaquín Barrio por sus apreciaciones y su apoyo durante los momentos de teletrabajo en que se ha creado este artículo.

Bibliografía

- Charquero, A. M^a (2016): “Práctica y usos de la fotogrametría digital en arqueología”. *DAMA*, 1: 139-157.
- Caro, J.L. (2012): “Fotogrametría y modelado 3D: un caso práctico para la difusión del patrimonio y su promoción turística”. *IX Congreso Tecnologías de la Información y las comunicaciones, Málaga 25 y 26 de octubre*.
- Gómez, L. (2018): *Técnicas de Restauración virtual aplicadas a dos defensas de mamut procedentes del yacimiento arqueopaleontológico del Barranc de La Boella (La Canona, Tarragona)*. Trabajo Fin de Máster. Máster en Patrimonio Virtual-Universidad de Alicante. Tutorizado por Daniel Tejerina y Lucía López-Pollín.
- Hernández, M. (2016): “El uso de fotogrametría de bajo coste en la creación de nubes de puntos aplicada a la arqueología comercial”. *Otarq*, 1: 311-324.
- Marquéz, N.F. (2018): “Nuevas realidades: tecnología al servicio del patrimonio cultural”. En M.C. Fernández y J.R. Sarmiento (coords.): *Patrimonio cultural y marketing social*: 97-112.
- Rodríguez, E. y Celestino, S. (2017): “Las estancias de los dioses: la habitación 100 del yacimiento de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz)”. *CuPAUAM*, 43: 179-194.



MetalEspaña 2020/2021

III Congreso de Conservación y Restauración del Patrimonio Metálico

Joaquín Barrio Martín
Milagros Buendía Ortuño (eds.)

El volumen 6 de la Serie Anejos a CuPAUAM recoge la publicación de las Actas del III Congreso de Conservación y Restauración del Patrimonio Metálico, *MetalEspaña 2020/2021*. Esta monografía es el resultado de las actividades científicas llevadas a cabo en los tres días de sesiones. En sus páginas se integran, de una manera muy equilibrada entre investigación e intervención, trabajos con unos contenidos multidisciplinares en su carácter analítico, deontológico y técnico. Con ello se demuestra que la combinación de Ciencia, Tecnología Aplicada y Conservación-Restauración es la mejor manera de abordar la recuperación y cuidado de los objetos que componen el Patrimonio Metálico.

Las Actas que se editan en esta monografía han sido posibles gracias a la implicación y al trabajo conjunto de las tres instituciones organizadoras de *MetalEspaña 2020/2021*: Universidad Autónoma de Madrid (SECYR), la Subdirección General de los Museos Estatales (Museo Nacional de Arqueología Subacuática ARQVA) y la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre (Museo Casa de la Moneda).