

# 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
<b>SESIÓN I. CIENCIA Y TECNOLOGÍAS DE INVESTIGACIÓN DEL PATRIMONIO METÁLICO</b>	
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 <sup>a</sup> 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	
<b>Sesión II. MONEDAS Y PATRIMONIO NUMISMÁTICO: ESTUDIOS, PROYECTOS, RESTAURACIONES Y MUSEOS</b>	
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 11<sup>th</sup> 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 ..... 213 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) ..... 223 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) ..... 231 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 ..... 239 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) ..... 249 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 ..... 257 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 ..... 269 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 ..... 279 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 <sup>a</sup> TERESA DOMÉNECH-CARBÓ, ROSA M <sup>a</sup> 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<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> 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><b>La conservación de las culebrinas de bronce recuperadas de la fragata <i>Nuestra Señora de las Mercedes</i></b> .....</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><b>La Estación Central de Santiago de Chile. Arquitectura metálica y vanguardia decimonónica</b> .....</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><b>Las jardineras tipo Monier en las Galerías Punta Begoña. Degradaciones y proceso de conservación</b> .....</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<sup>a</sup> DOLORES RODRÍGUEZ LASO</p>	445
<p><b>Los inicios de la industria del hierro en Madrid en el siglo XIX: cerramientos de edificios reseñables</b> .....</p> <p>The beginnings of the iron industry in Madrid in the 19<sup>th</sup> century: remarkable building enclosures</p> <p>SUSANA LÓPEZ GINESTAL Y SOLEDAD DÍAZ MARTÍNEZ</p>	453
<p><b>Restauración del Patrimonio Metálico Urbano: la escultura de la Flama Rotaria de la ciudad de Valencia</b> .....</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><b>Westfalia Manteigueira com Centrifugadora: desafios e soluções de conservação</b> .....</p> <p>Westfalia Butter with Centrifuge: challenges and conservation solutions</p> <p>ANDREIA ROMÃO</p>	471

# Sistema expositivo en la colección de metales del Museo Foro Romano. Molinete (Cartagena)

## Exhibition system in the metal collection of the Roman Forum Museum. Molinete (Cartagena)

**IZASKUN MARTÍNEZ PERIS**

Directora Técnica de Conservación y Restauración del  
Proyecto Museo Foro Romano. Molinete  
Museo Foro Romano. Molinete  
Calle Adarve, 6. 30201 Cartagena (Murcia)  
izaskun\_martinez@hotmail.com

### Resumen

La colección metálica del Museo Foro Romano. Molinete (Cartagena) posee características muy diversas, y nuestros esfuerzos se han centrado en proporcionarles unas condiciones ambientales adecuadas. Cabe reseñar, que la principal problemática de Cartagena es la elevada humedad relativa (70-90 %), cuestión que supone un gran reto a la hora de conseguir unas condiciones expositivas estables y controladas. De este modo, se ha optado por concentrar la mayor parte de objetos metálicos en una única vitrina con un sistema de control activo, suplementándolo con sistema pasivo y así poder bajar las condiciones de HR. El resto de objetos, distribuidos en otras vitrinas, cuentan con control pasivo y con instalación de subvitrinas con resultados insuficientes. Para el control de parámetros se han distribuido *Data Logger Wi-Fi* en las diversas vitrinas y subvitrinas, lo que permite monitorizar, con descarga de datos permanente e incluso con sistema de alarma, las fluctuaciones de temperatura y humedad.

**Palabras clave:** conservación preventiva, material metálico, Molinete, Cartagena, HR, vitrinas

### Abstract

The metal collection of the Roman Forum Museum. Molinete (Cartagena) has very diverse characteristics, and our efforts have focused on providing them with suitable environmental conditions. It should be noted that the main problem in Cartagena is the high relative humidity (70-90 %), which is a great challenge when it comes to achieving stable and controlled exhibition conditions. Thus, it was decided to concentrate most of the metal objects in a single display case with an active control system, supplementing it with a passive system to lower the RH conditions. The rest of the objects, distributed in other showcases, have passive control and the installation of sub-vitrines with insufficient results. For parameter control, Wi-Fi Data Loggers have been distributed in the various showcases and sub-vitrines, which allows monitoring, with permanent data download and even with an alarm system, temperature and humidity fluctuations.

**Key words:** Preventive conservation, metallic artifacts, Molinete, Cartagena, RH

## 1. Introducción<sup>1</sup>

La colección de objetos metálicos, a la que hacemos referencia, forma parte del Parque Arqueológico del cerro del Molinete, una de las cinco colinas que configuran la ciudad romana de *Carthago Nova* (actual Cartagena, provincia de Murcia), que en la actualidad alberga un área arqueológica de unos 26 000 m<sup>2</sup> en la cual hemos trabajado un amplio equipo interdisciplinar, con la participación de la Universidad de Murcia y con la colaboración de la Universidad Politécnica de Cartagena.

En el año 2008 arrancó el proyecto arqueológico y de puesta en valor en el parque con la participación de un extenso equipo compuesto por arqueólogos, conservadores-restauradores, arquitectos, historiadores, topógrafos, fotógrafos, químicos..., que nos permitió identificar una intensa actividad urbana desarrollada en este cerro y sus zonas adyacentes desde el siglo III a. C. hasta nuestros días.

Desde entonces hemos podido estudiar y musealizar lo que se ha denominado Barrio del Foro Romano, integrado por la *Insula I*, con los restos de las Termas del Puerto y el Edificio del Atrio, la *Insula II* con el Santuario de Isis y Serapis y, por último, la *Insula IV*, donde se han localizado dos edificios domésticos cuya excavación está en curso. Por último, y cerrando el área musealizada por el este, están los restos del Foro de la colonia con la Curia. Esta construcción se salvaguardó y protegió en los sótanos del edificio del Centro de Salud Casco Antiguo, en parte del cual se ha ubicado el Museo Foro Romano. Molinete, cuya inauguración se produjo el 5 de mayo de 2021 (sobre el proyecto del Molinete véase: Noguera *et alii*, 2020).

La zona más productiva en cuanto al hallazgo de objetos metálicos se refiere, se centra en el Edificio del Atrio, una construcción de unos 1 200 m<sup>2</sup>, que pudo ser la sede colegial de una corporación (siglo I-III d. C.). Casi todos los objetos metálicos proceden de contextos domésticos del siglo III d. C. Cabe destacar que, en la metodología de levantamiento, participó activamente el equipo de conservación y restauración, lo que permitió obtener la máxima información minimizando el impacto de las nuevas condiciones ambientales y físicas.

En el año 2016 comenzó la planificación de un museo que pudiera albergar la colección de objetos hallados en las campañas anteriores y que contara la historia del Molinete a lo largo de las distintas épocas. En este proceso se elaboró el proyecto museológico y se seleccionó un conjunto de 350 objetos significativos. Paralelamente, se trazaron las líneas de trabajo de conservación y restauración mediante la elaboración de un plan de intervención eficaz y sistemático con el apoyo activo del equipo de arqueología. La metodología implementada priorizó un exhaustivo trabajo de documentación previo que incluía, entre otras cosas, caracterización, diagnóstico y propuesta de intervención. El objetivo de los tratamientos fue la limpieza, estabilización y protección de las piezas, así como proporcionarles un correcto embalaje a la espera de su exposición en el museo. Paralelamente, se diseñaron las características que debía observar el centro expositivo para cumplir las premisas de conservación preventiva.

## 2. Importancia de la conservación preventiva

Entre las múltiples funciones propias de un museo destaca la misión de proteger a corto, medio y largo plazo el patrimonio material que acoge. La definición oficial de la actividad conservadora según el ICCROM se refiere a «Todas aquellas medidas o acciones que tengan como objetivo la salvaguarda del patrimonio cultural tangible, asegurando su accesibilidad a generaciones presentes y futuras. La conservación comprende la conservación preventiva, la conservación curativa y la restauración. Todas estas

<sup>1</sup> Este trabajo se enmarca en el proyecto de investigación PID2019-105376GB-C41, MINECO/FEDER UE.

medidas y acciones deberán respetar el significado y las propiedades físicas del bien cultural en cuestión». En este sentido, resulta de vital importancia la conservación preventiva que busca proporcionar a los objetos un ambiente adecuado con el fin de minimizar el deterioro a que se ven sometidos en el entorno de un museo abierto al público.

Son varios los factores extrínsecos que afectan a la conservación de los objetos en un ambiente no controlado: ambientales (variaciones bruscas de Temperatura y Humedad Relativa, radiaciones lumínicas, contaminación, catástrofes naturales), factores bióticos (hongos, algas, microorganismos, insectos...) y por último, y no menos importante el factor antrópico o humano (accidentes, vandalismo). La falta de control sobre estos factores puede ocasionar daños irreversibles en la colección de un museo.

Las variaciones bruscas o valores inadecuados de Temperatura (T), Humedad Relativa (HR), radiaciones lumínicas (UV, IR) y contaminación, pueden ocasionar en los objetos arqueológicos problemas de dilatación, fisuras, aceleración de procesos químicos y el aumento de la actividad biológica. En zonas costeras, como es nuestro caso, se debe prestar especial atención a la presencia de sales (cloruros, sulfatos), que mantienen la humedad (higroscopicidad) allá donde se depositan.

La luz también produce en los materiales efectos adversos, causados no sólo por el espectro visible sino también por la radiación ultravioleta. A diferencia de los daños físicos producidos por la HR y la T, estos son de naturaleza fotoquímica. Ello implica, por un lado, que son irreversibles y no se podrá recuperar su estado anterior y, por otro, que se acumulan con el tiempo. Por lo cual, también es de vital importancia un control de la cantidad e intensidad de las fuentes lumínicas de la sala y vitrinas.

La contaminación atmosférica es otro de los factores que interviene negativamente en la conservación, ya que afecta a la mayoría de los materiales desencadenando reacciones químicas. Los contaminantes pueden ser gaseosos o partículas de polvo y pueden proceder del exterior del edificio o del interior. Este problema puede solucionarse por medio de circuitos cerrados de climatización que suelen incluir filtros de polvo, filtro para partículas gruesas y finas (ASHRAE, 2007) y también de carbono activo para la eliminación de la contaminación gaseosa (Ministerio de Cultura. Sección de Conservación preventiva, 2009). Al respecto, la limpieza de las salas debe ceñirse a control por parte de personal cualificado, realizarse de forma suave y a ser posible, sin aportes excesivos de agua ni de productos que puedan ser perjudiciales en suspensión.

Por último, debemos tener en cuenta los factores de origen humano como son las vibraciones o riesgo de vandalismo. Para contrarrestarlos el museo debe contemplar los medios adecuados en cuanto a estructura y equipamiento, así como un eficaz sistema de vigilancia durante las visitas y cuando el museo esté cerrado al público. En este caso, dotar al personal del centro (mantenimiento, limpieza, vigilancia...) de una formación mínima es de suma importancia.

La mejor manera de proteger los bienes, frente a estos elementos, consiste en aplicar un protocolo de conservación preventiva (Plan Nacional de Conservación Preventiva. IPCE, 2011) que procure, entre otras cosas, parámetros con valores específicos a cada material y a su estado de conservación. Debemos señalar, que los objetos arqueológicos más vulnerables son los de naturaleza metálica, el vidrio y los orgánicos, aunque es importante realizar un estudio individualizado de las necesidades específicas en cada caso.

### 3. El Museo Foro Romano. Molinete

El museo está configurado en tres plantas siendo la planta 0 la situada a cota de calle y, por tanto, corresponde con el acceso de visitantes, la -1 o intermedia y por último la -2, donde se encuentran los restos arqueológicos de la Curia y un *kardo* asociado. El material predominante del museo es el acero, de 10 mm de espesor, dispuesto en paredes, puertas y mobiliario que se alterna con hormigón, material que conforma la



**Figura 1.** Plano de sección del museo y distribución en tres plantas  
**Figure 1.** Section plan of the museum and distribution on three floors

estructura principal. El empleo de estos materiales tiene un gran impacto en las condiciones ambientales del centro. A esto hay que sumarle la falta de aislamiento ambiental del edificio y un nivel freático muy alto (figura 1).

Con estos datos iniciales y como trabajo previo, se realizó un estudio de todas las variables: valores climáticos necesarios, condiciones iniciales ambientales y cómo conseguir su control. Para ello tuvimos en cuenta en el estado de conservación de los objetos, su naturaleza y el *curriculum vitae* climático<sup>2</sup>.

Por otra parte, se recabaron datos del espacio en el que se iba a desarrollar la actividad, como las características constructivas del edificio, las condiciones ambientales interiores y sus incidencias (focos de humedad, falta de aislamiento), su grado de estanqueidad y la estructuración del espacio expositivo. Con esta información se plantearon, en primer lugar, las medidas pasivas de control climático para mejorar las deficiencias de aislamiento térmico y estanqueidad de los cerramientos del edificio, así como la necesidad de un control activo de las condiciones ambientales.

Es importante tener en cuenta que antes de modificar las condiciones climáticas, debíamos determinar los niveles previos y los que se iban a conseguir, siendo realistas en las dificultades de control cuanto mayor sea la expectativa en el cambio de los parámetros. En este proceso se realizaron mediciones de Temperatura y Humedad Relativa, tanto en exterior como en interiores. Dicho esto, es importante señalar algunas diferencias ambientales entre las plantas:

**2** En el *curriculum vitae* climático de un objeto se contemplan las circunstancias a que ha estado sometido en relación al clima, la iluminación y la contaminación atmosférica, así como las alteraciones que ha sufrido (Antomarchi y Guichen, 1987: 850).

- Planta 0: se trata de la única planta cerrada y climatizada pero con la problemática de la apertura y cierre constante cuando hay visitantes. De este modo se obtuvieron unas mediciones de 25 °C de T y una HR de entre 65 y 75 %. Esta planta alberga nueve vitrinas con los objetos más emblemáticos y, por sus condiciones, fue la elegida para exhibir los metales.
- Planta -1: situada en la entreplanta sin aislamiento ambiental. La temperatura es fluctuante y paralela a la temperatura exterior con una diferencia de -5 °C. La HR es alta con variaciones entre 70 y 85 %. Cuenta con tres vitrinas y un anforario exterior.
- Planta -2: situada en el sótano a cota de yacimiento y sin aislamiento ambiental. Los cambios de temperatura, con respecto al exterior, son más estables no superando los 25 °C. La HR, en cambio, es excesivamente alta con un rango entre 70 y 90 %. Es la planta expositiva con las condiciones más desfavorables. En este espacio se distribuyen 4 vitrinas longitudinales por una vitrina de grandes dimensiones y un lapidario exterior.

Partiendo de estos condicionantes, el diseño y funcionalidad de las vitrinas era el punto fundamental para garantizar la conservación de la colección, teniendo en cuenta que conseguir las condiciones ambientales idóneas para todos los objetos expuestos, era un objetivo de cierta complejidad. Si las condiciones requeridas para una o varias piezas difiere de la media establecida para el conjunto de la exposición, es necesario adoptar medidas suplementarias de protección.

Hay que tener en cuenta que la eficacia de una vitrina depende del cumplimiento de unas condiciones básicas: estabilidad, accesibilidad y hermetismo. Deben estar construidas con elementos física y químicamente estables. En este sentido, existen una serie de limitaciones ya que algunos materiales utilizados habitualmente (PVC, PVA, adhesivos, pinturas...) presentan ciertos niveles de toxicidad. Aunque los estudios sobre sus efectos están por concluir, han revelado daños irreversibles en objetos de origen cálcico, vidrios, textiles, papel y algún tipo de cerámica (Cano y Bastidas, 2006). Su exposición a estos contaminantes puede producir efectos adversos a medio y largo plazo.

Atendiendo a estas consideraciones, los contenedores expositivos/vitrinas, que se han generado, cumplen unas características comunes en su fabricación y adecuación, con independencia de su contenido:

- Vitrina longitudinal escaparate realizada con estructura metálica de tubo galvanizado revestido en chapa metálica (acero 10 mm) tratada y lacada. El frontal es de vidrio laminado de seguridad extraclaro con apertura frontal mediante bisagra lateral de cordón, lo que permite un fácil acceso al interior. Para soportar el peso y evitar vibraciones se han incluido niveladores de apoyo, ruedas para la apertura y cerraduras de seguridad. La vitrina está dividida en dos partes: la zona superior donde se exponen los objetos y la zona inferior donde está ubicado el registro que alberga el material de conservación, sistemas de control lumínico y tomas eléctricas.
- Para el acabado interior, como para las bases y baldas de chapa metálica, se ha empleado pintura acrílica al agua no contaminante (material neutro, libre de ácidos y resistente a la humedad).
- Los materiales de anclaje están confeccionados en acero inoxidable y forrados, en los puntos de contacto, con polímeros inertes que no emitan gases contaminantes y por ende perjudiciales para la conservación de los objetos.
- Para la iluminación interior se han empleado focos LED con control de intensidad y matizados, para poder regular los grados Lux según necesidades.
- En la parte inferior del contenedor, y de manera no visible, se han colocado cajones donde se ubican productos desecantes para el control pasivo de HR, en este caso PROSORB CASSETE® (gel de sílice) 40-50 % HR.



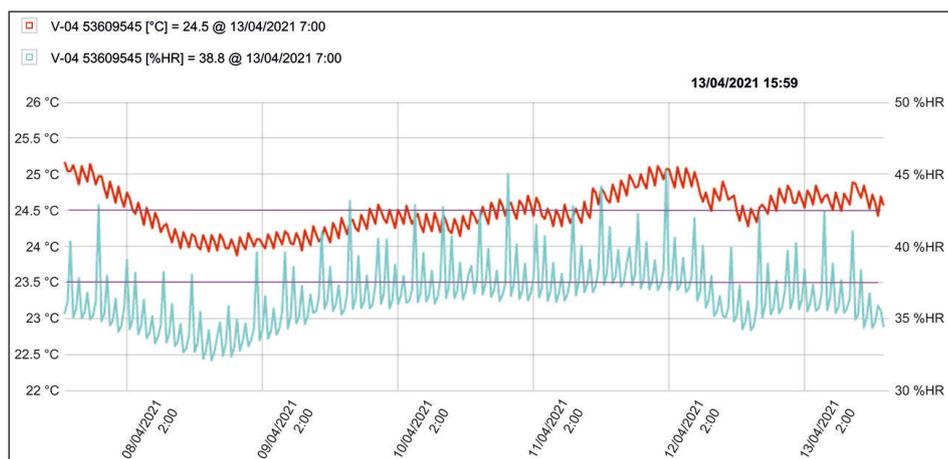
**Figura 2.** Interior de la vitrina 4

**Figure 2.** Interior of showcase 4

- Monitorización de cada vitrina mediante un Data Logger Wi-Fi Testo 160 H<sup>®</sup> que incluye registrador de datos de humedad y temperatura con rango de funcionamiento  $-10$  hasta  $+50$  °C. Exactitud  $\pm 2$  °C y de 0 a 100 % de HR sin condensación. Los datos de medición se transmiten y se almacenan directamente en el Testo Cloud desde el registrador de datos a través de WLAN. En caso de variación de los valores límite configurados, la persona designada recibe una alerta por e-mail o por SMS. Además, es posible acceder en cualquier momento a las mediciones y a las funciones de análisis con un teléfono móvil, tablet o PC con conexión a internet. La alimentación puede ser a través de conexión USB con adaptador a red eléctrica (figura 2).

Dadas las características de conservación de la colección metálica y conociendo los datos ambientales, se propuso realizar una vitrina (V04) que albergara el mayor número de estas piezas, lo que obligó a modificar parcialmente el discurso expositivo en pro de la conservación preventiva.

- En este caso se ha implementado un sistema de control activo mediante una planta deshumidificadora, HIDROS (modelo FH25)<sup>®</sup>, de tipo mural encastrado en la base de la vitrina. Esta unidad está provista con dos condensadores y un software de funcionamiento específico que le permite deshumidificar con aire neutro y/o deshumidificar + enfriar el aire. Cuenta con una sonda límite y un dispositivo que indica al control electrónico que se han superado los límites. La capacidad de deshumidificación cada 24 horas y a  $22$  °C de T es de 9,6; 12,5; 13,1, y 14,4 litros para una humedad relativa, de 50, 60, 65 y 70 % respectivamente. El caudal de aire es de  $250$  m<sup>3</sup>/h y la alimentación eléctrica de 230 V con una potencia sonora de 45 db(A). Por otra parte, el aparato se conecta solo en caso de necesidad, lo que supone un ahorro energético. El agua generada se elimina por un desagüe colocado en la zona inferior del registro.



**Figura 3.** Gráfica mediciones vitrina 04. No se aprecian excesivas fluctuaciones en valores de T y HR de esta vitrina y corresponden a los intervalos de apagado del sistema hasta que recupera los valores límite y se vuelve a conectar

**Figure 3.** Graph of measurements in showcase 04. There are no excessive fluctuations in T and RH values in this showcase and they correspond to the intervals of system shutdown until it recovers the limit values and is turned on again

- Para lo monitorización se ha empleado un Data Logger Testo 160 TH<sup>®</sup>.
- Sistema de control pasivo complementario con PROSORB CASSETE<sup>®</sup> 40 % por si hay fallos técnicos o eléctricos puntuales.

El resultado de este sistema ha sido positivo obteniendo registros de una temperatura media de 24,5 °C y una humedad relativa de 35,9 %, valores idóneos para la conservación de objetos metálicos (figura 3).

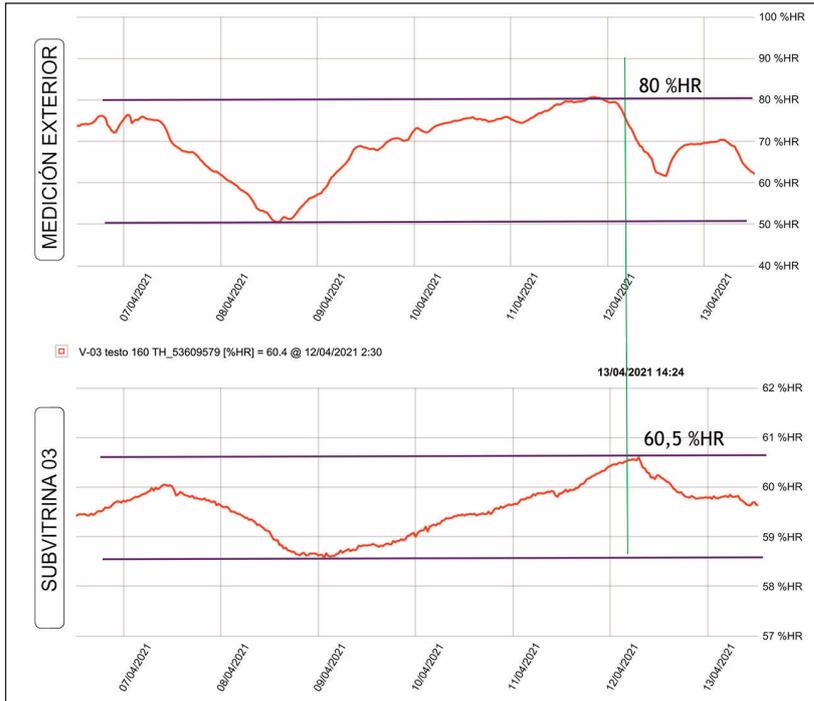
Otro caso son los objetos metálicos distribuidos por las diversas vitrinas que no cuentan con un control activo. Al observar que el control pasivo no era suficiente para bajar el porcentaje de Humedad Relativa de las vitrinas decidimos insertar subvitrinas con material desecante y monitorización independiente para controlar los parámetros al disminuir el cubicaje del contenedor.

Dada la diversidad formal, de materiales y expositiva hemos diseñado varios tipos de estos pequeños contenedores. Por una parte, los más sencillos donde una campana de vidrio antirreflejos engloba la pieza dispuesta en su correspondiente peana que contiene el gel de sílice. La campana está sellada con un film de poliuretano contra la base. El otro tipo de subvitrinas son contenedores independientes con zona registrable lateral para introducir el material desecante y con un cristal superior antirreflejos.

Tras varios meses de funcionamiento del museo hemos podido comprobar que el sistema pasivo de control de humedad no es del todo efectivo. Las altas concentraciones de HR ambiental junto con las características del museo hacen difícil bajar drásticamente los valores en el interior de las subvitrinas; aun así, seguimos investigando en mejores sistemas de sellado y estanqueidad y lo que es más importante, seguiremos manteniendo un control periódico de la colección metálica que nos permita intervenir ante la menor incidencia (figuras 4-5).

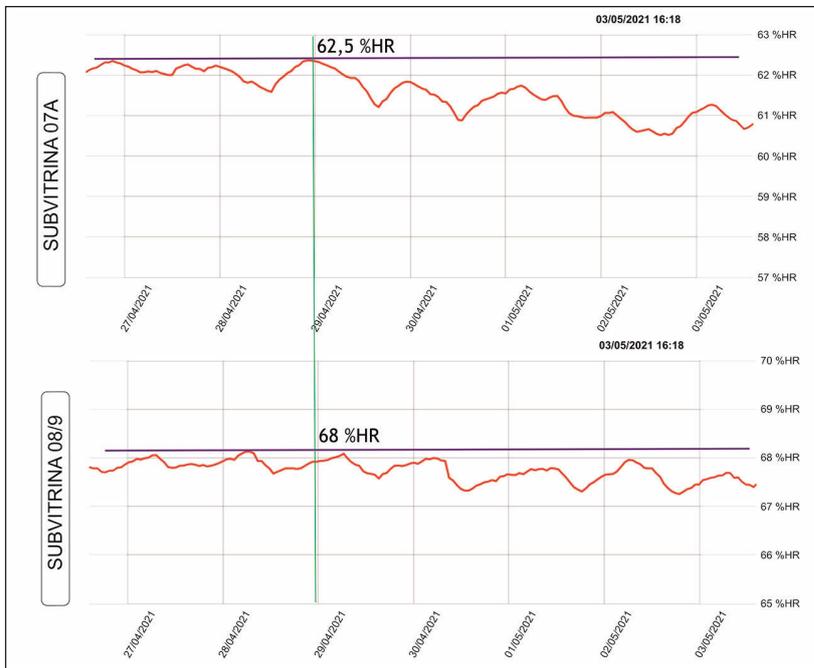
#### 4. Conclusiones

El diálogo y consenso entre todas las disciplinas participantes en un proyecto museológico es crucial. Es necesario abordar el diseño expositivo desde todos los puntos de vista incluido el de la conservación



**Figura 4.** Gráfica comparativa de HR en exterior y en subvitrina en la planta 0. Podemos ver como dibujan la misma curva, pero con distintos valores: 80 % de HR en el exterior y 60,5 % en el interior. La bajada es considerable pero no suficiente

**Figure 4.** Comparative graph of RH outdoors and in the subvitrina on floor 0. We can see how they draw the same curve, but with different values: 80 % RH outdoors and 60.5 % indoors. The drop is considerable but not sufficient



**Figura 5.** Gráfica comparativa de HR en subvitrimas dispuestas en la planta -1 y -2. En estos casos se aprecia cómo la bajada de cota aumenta la concentración de HR pasando de 62,5 % a 68 %

**Figure 5.** Comparative graph of RH in subvitrimas arranged on floors -1 and -2. In these cases it can be seen how the lowering of the level increases the RH concentration from 62.5 % to 68 %

de los materiales que se van a exhibir. Así pues, para este cometido, los conocimientos y valoraciones de los técnicos en conservación y restauración deben ser asimilados.

Partiendo de un presupuesto limitado, debemos priorizar la aplicación de sistemas de control activo en las instalaciones de un museo y en ocasiones tenemos que hallar la manera de buscar alternativas, como es el caso de control pasivo en subvitriñas.

Por este motivo, es imprescindible implementar un protocolo de conservación preventiva que contemple el control periódico de la colección y las instalaciones. En este cometido debe estar implicado todo el personal asociado al museo y administraciones.

El estudio y control de las medidas de prevención de deterioro en el Museo Foro Romano. Molinete no ha concluido. Es una labor permanente en el que el objetivo es conseguir las condiciones más adecuadas para la colección y en especial para los objetos metálicos.

## Bibliografía

- Antomarchi, C. y Guichen, G. (1987): "Pour une nouvelle approche des normes climatiques dans les musées". En Grimstad (ed.): *ICOM Committee for conservation: 8<sup>th</sup> Triennial Meeting, Sydney, Australia*. Preprints, Getty Conservation Institute. Marina del Rey: 847-851.
- Bellido, A. (2011): "Ejemplos de climatización en el Museo de Valladolid". *Museo: Revista de la Asociación Profesional de Museólogos de España*, 16. (Ejemplar dedicado a: Entre bastidores: los equipamientos e instalaciones del museo): 321-330.
- Cano, E. y Bastidas, J.M. (2006): "Conservación preventiva de metales en interiores: control de la contaminación por ácidos orgánicos". En Barrio, J. (ed.): *Innovación tecnológica en conservación y restauración del patrimonio*. UAM. Madrid: 128-147.
- Enríquez, G. y Gil, M.T. (2010): "Estudio de las condiciones microclimáticas y lumínicas. Metodología y practica en la sede del Instituto del Patrimonio Cultural de España". *La Ciencia y el Arte II. Ciencias experimentales y conservación del Patrimonio Histórico*. Ministerio de Cultura. Madrid: 78-93.
- Enríquez, G., Pastor, M.J. y Gil, T. (2014): *Manual de seguimiento y análisis de condiciones ambientales*. Plan Nacional de Conservación Preventiva. IPCE, Ministerio de Cultura. Madrid.
- García, M. (2000): *La conservación preventiva en los Museos. Teoría y práctica*. Organismo Autónomo de Museos y Centros. Santa Cruz de Tenerife.
- Herráez, J.A. y Rodríguez, M.A. (1989): *Manual para el uso de aparatos y toma de datos de las condiciones ambientales en museos*. Dirección General de Bellas Artes y Archivos. Madrid.
- Noguera, J.M., Martínez, A., Madrid, M.J. y Martínez, I. (2020): "Parque Arqueológico del Molinete (Cartagena): de la investigación a la difusión (balance de la década 2008-2017)". En P. Mateos y F. Palma (eds.): *La arqueología urbana en las ciudades de la Hispania romana: proyectos integrales de investigación, conservación y difusión*. Consorcio de la Ciudad Monumental histórico-artística. Mérida: 367-401.
- Orea, H., Grimaldi, D. y Magar, V. (2001): "La conservación de los materiales arqueológicos durante los procesos de registro, excavación y extracción". En R. Schneider (ed.): *Conservación in situ de materiales arqueológicos*. INAH. México.
- VV.AA. (2011): *Plan Nacional de conservación Preventiva*. IPCE, Ministerio de Cultura. Madrid.



## 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).