

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 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 ^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

Estrategias innovadoras para la conservación preventiva de los objetos metálicos en colecciones de museos

Innovative strategies for the preventive conservation of metallic objects in museum collections

MARÍA TERESA MOLINA

Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM)
Plataforma Temática Interdisciplinar «Patrimonio Abierto:
Investigación y Sociedad»
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)
Avenida Gregorio del Amo, 8. 28040 Madrid
mt.molina@cenim.csic.es
<https://orcid.org/0003-1183-5559>

IVÁN DÍAZ

Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM)
Plataforma Temática Interdisciplinar «Patrimonio Abierto:
Investigación y Sociedad»
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)
Avenida Gregorio del Amo, 8. 28040 Madrid
ivan.diaz@cenim.csic.es
<https://orcid.org/0003-3981-985X>

BLANCA RAMÍREZ

Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM)
Plataforma Temática Interdisciplinar «Patrimonio Abierto:
Investigación y Sociedad»
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)
Avenida Gregorio del Amo, 8. 28040 Madrid
blanca.ramirez@csic.es
<https://orcid.org/0001-5306-4057>

EMILIO CANO

Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM)
Plataforma Temática Interdisciplinar «Patrimonio Abierto:
Investigación y Sociedad»
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)
Avenida Gregorio del Amo, 8. 28040 Madrid
ecano@cenim.csic.es
<https://orcid.org/0002-8716-3931>

Resumen

La problemática en la conservación de colecciones metálicas procede en muchos casos de contaminantes emitidos por materiales de vitrinas, salas o almacenes donde se exponen o conservan. Al margen de los propios materiales de la vitrina, en algunos tipos de colecciones pueden coexistir materiales incompatibles, a veces incluso en el mismo objeto. En los últimos años se han desarrollado algunos sistemas para la medida de la corrosividad de ambientes de interior de museos, sin embargo, son sistemas muy costosos. Como alternativa a estos sistemas se está llevando a cabo un abordaje integral de los problemas de corrosión de metales en interiores de museos a través de varios proyectos de investigación, con el fin de establecer una estrategia efectiva y sostenible para su conservación. Para ello, se pretende cuantificar y clasificar la corrosividad en salas y vitrinas de museos como el MAN o MUNCYT, así como evaluar la corrosividad de los componentes no metálicos que forman parte de los objetos y/o de la exposición basándonos en normas como la UNE ISO 11844:2020 y en la realización de test de Oddy. Como metodología innovadora de evaluación del deterioro se propone un sistema para la monitorización del impacto ambiental sobre las colecciones metálicas a partir de los cambios de color asociados a la corrosión, empleando análisis de imagen e involucrando activamente a los visitantes.

Palabras clave: conservación preventiva, colecciones metálicas, corrosión, evaluación de ambientes, ciencia ciudadana

Abstract

The problems for the conservation of metal collections comes in many cases from pollutants emitted by materials of showcases, display or storage rooms where they are exposed or preserved. Apart from the materials of the display case itself, in some types of collections incompatible materials can be co-existing

and sometimes even in the same object. In recent years, some systems have been developed to measure the corrosivity of indoor museum environments, but they are very expensive.

As an alternative to these systems, a comprehensive approach to the problems of corrosion of metals in museum interiors is being carried out through several research projects, in order to establish an effective and sustainable strategy for their conservation. To this end, the aim is to quantify and classify the corrosivity in rooms and showcases of museums such as MAN or MUNCYT, as well as to evaluate the corrosivity of the non-metallic components from the objects and/or the exhibition, based on standards such as UNE ISO 11844:2020 and the Oddy test. As an innovative methodology for assessing deterioration, a system is proposed for monitoring the environmental impact on metal collections based on the changes in colour associated with corrosion, using image analysis and actively involving visitors.

Key words: preventive conservation, metallic collections, corrosion, environment assessment, citizen science

1. Introducción

La interacción de contaminantes con los materiales de los bienes culturales expuestos en interior es uno de los principales problemas a los que se enfrenta la conservación preventiva. En concreto, las colecciones compuestas principalmente por objetos metálicos muestran gran sensibilidad ante la presencia de compuestos orgánicos volátiles (COV), generados tanto en el interior como en el exterior, que pueden desencadenar reacciones químicas sinérgicamente junto a la humedad y temperatura inadecuadas, provocando la corrosión del metal.

Estos compuestos provienen, principalmente, de materiales orgánicos (plásticos, maderas, siliconas, disolventes, etc.) utilizados para la exposición y almacenaje de los objetos donde la circulación del aire es menor si la comparamos con galerías o salas de museo en abierto (Grzywacz, 2006). Sin embargo, los COVs también pueden generarse por materiales de otros objetos en exposición en el caso de colecciones mixtas, o coexistentes en el mismo objeto como suele ocurrir en las colecciones científico-técnicas, donde además del metal puede contener plásticos, madera, cuero, aceites, lubricantes y otras sustancias (Leal, 2016).

Por tanto, para reducir o ralentizar en la medida de lo posible el deterioro, es muy importante conocer tanto la sensibilidad de los materiales que componen nuestra colección como el ambiente en el que se encuentran. Para ello es habitual llevar a cabo estrategias de control que minimicen los efectos adversos de los contaminantes (Tetreault, 2003). Existen diversos métodos para la medida de los contaminantes presentes en museos, y para cuantificar el deterioro causado a los metales, como los sistemas MuseCorr (Kouril *et alii*, 2014) o Purafil OnGuard (*OnGuard Smart - Purafil*, no date). Sin embargo, son sistemas con un coste de adquisición y mantenimiento elevados, por lo que no están al alcance de la mayoría de los museos. En este trabajo se presentan estrategias alternativas efectivas, sostenibles y de bajo coste seguidas por el grupo de «Corrosión Atmosférica y Patrimonio Cultural» (CAPAC), así como el tipo de información que se obtiene de ellas y su adaptación a las necesidades de conservación de las colecciones o la exposición.

2. Estrategias de estudio

2.1. Evaluación de la corrosividad del medio sobre los metales de la colección

Una metodología que permite la evaluación de la corrosividad del ambiente sin equipamientos complejos es la descrita en la norma *UNE-EN ISO 11844-1:2020*. Para ello se disponen, a modo de sensores, una serie de probetas de los metales más representativos en la localización a evaluar, cuantificándose la corrosión producida durante el tiempo de exposición. Con esta estrategia, no es posible caracterizar esos compuestos perjudiciales, pero sí estudiar el efecto de los mismos sobre cada metal y llevar a cabo una clasificación de la agresividad de la atmósfera de la vitrina, sala o almacén analizado.

La corrosividad se mide a partir de un análisis gravimétrico e individualizado de todas las probetas, ya sea, mediante ganancia o pérdida de masa, lo que permite realizar la clasificación del ambiente. Según la norma, las atmósferas de interior se clasifican en cinco categorías de corrosividad denominadas IC, que abarcan del 1 al 5, donde IC1 indica una corrosividad muy baja e IC5 indica una corrosividad muy alta. Por otro lado, es posible cuantificar directamente la corrosión de determinadas probetas metálicas, plata y cobre, mediante ensayos de reducción electroquímica.

Esta evaluación a través de probetas metálicas fue utilizada en el Museo Arqueológico Nacional (MAN) en el marco del proyecto AIRARTE¹. La exposición se llevó a cabo durante seis meses en diferentes vitrinas que contenían diferentes materiales orgánicos e inorgánicos, utilizando probetas normalizadas de plata, plomo y cobre situadas en un bastidor dentro de las vitrinas.

En el proyecto COMPACT², basándonos en la metodología y la experiencia del proyecto AIRARTE, se realizó la evaluación de diferentes ambientes por medio de probetas metálicas, concretamente, en las tres sedes del Museo Nacional de Ciencia y tecnología (MUNCYT): Alcobendas, A Coruña y el almacén de Delicias. En esta ocasión, la exposición de las probetas se realizó durante nueve meses y se ampliaron los metales expuestos: además de plata, plomo y cobre, se expuso acero al carbono, aluminio y latón como metales más representativos de las colecciones científico-técnicas del museo (figura 1).

Además de la gravimetría, en COMPACT se ha evaluado el cambio de color de las probetas expuestas, para compararlos con los resultados obtenidos con la gravimetría. Las medidas de color fueron tomadas con un espectrofotómetro Konica Minolta CM-700d tanto antes como después de la exposición.

Los resultados obtenidos en ambos proyectos han mostrado la utilidad de esta metodología para la evaluación del ambiente de los museos. La corrosividad de los distintos ambientes evaluados es muy variada, tanto entre distintas sedes, como dentro de cada una por la forma de exposición o almacenaje (figura 2). Por ejemplo, las localizaciones estudiadas de la sede de MUNCYT Alcobendas han sido clasificadas como IC1 o IC2 (corrosividad muy baja o baja) con alguna excepción como ha sido el caso de la vitrina «Hogar, dulce hogar» donde el plomo presentaba una corrosión muy elevada y una diferencia de color importante ($\Delta E^* = 13$) debido, probablemente, a la presencia de algún ácido orgánico emitido por algún material de la vitrina. Se han encontrado similitudes en la corrosividad respecto a la sede de MUNCYT A Coruña, que tiene salas y vitrinas similares, sin embargo, se ha detectado una corrosividad más elevada respecto a MUNCYT Alcobendas en algunas vitrinas y sobre todo en salas, debido a la dificultad de controlar la humedad relativa, elevada durante todo el año, y la presencia de cloruros debido a su proximidad al mar.

¹ «Protección y conservación del patrimonio cultural en museos mediante tecnologías innovadoras relacionadas con la calidad del aire» (AirArte) MINECO. Programa Estatal de I+D+i Orientada a los Retos de la Sociedad 2015. Subprograma Retos-Colaboración. RTC-2015-4269-6. 01/10/2015-30/06/2018.

² «La Conservación de los Metales en el Patrimonio Científico-Técnico» (COMPACT) MINECO-AEI. Programa Estatal de I+D+i Orientada a los Retos de la Sociedad 2017. HAR2017-89911-R. 01/01/2018- 30/09/2021.

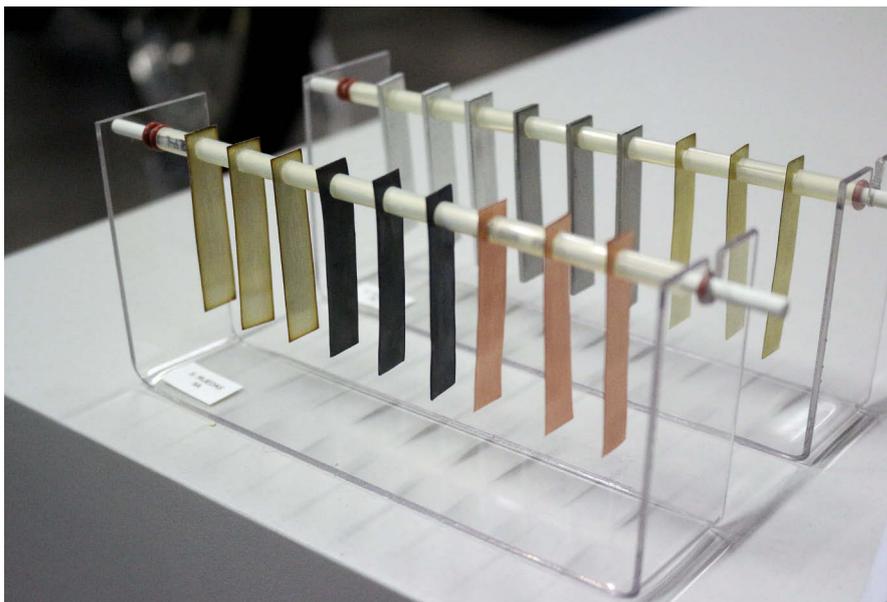


Figura 1. Ejemplo de bastidores colocados en la sala «Ruedas» de MUNCYT Alcobendas durante el período de exposición

Figure 1. Example of holders placed in the “Wheels” room at MUNCYT Alcobendas during the exhibition period

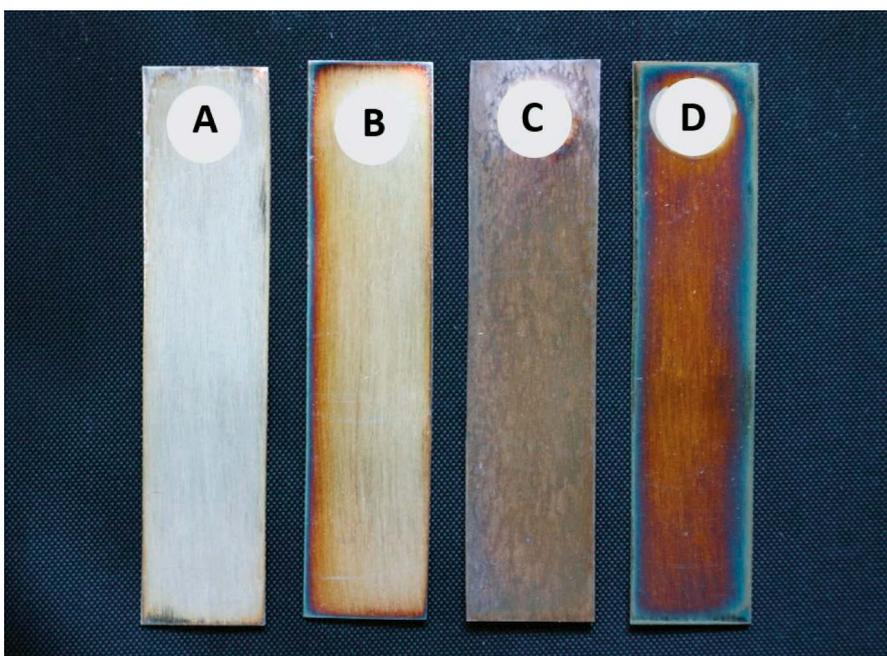


Figura 2. Diferencias de color tras la corrosión de la plata en diferentes ambientes. A. Probeta expuesta bajo un objeto cubierto con papel libre de ácido en el almacén MUNCYT Delicias. B. Probeta expuesta en una vitrina con variedad de objetos en MUNCYT Alcobendas. C. Probeta expuesta en una sala abierta en MUNCYT Coruña. D. Probeta expuesta en sala abierta del almacén de MUNCYT Delicias

Figure 2. Colour differences after corrosion of silver in different environments. A. Coupon exposed under an object covered with acid-free paper. B. Coupon exposed in a showcase with a variety of objects in MUNCYT Alcobendas. C. Coupon exposed in an open room at MUNCYT Coruña. D. Coupon exhibited in an open room in the MUNCYT Delicias warehouse

En cuanto al almacén de MUNCYT Delicias, los resultados son más divergentes; se han identificado notables diferencias entre la corrosividad del ambiente en sala (hasta IC₃ y una diferencia de color de $\Delta E^* = 52$) para la plata), seguido de forma decreciente por el interior de un almacenaje compacto, con un gran número de piezas de materiales variados sin separación y, por último, por objetos almacenados fuera de los compactos y protegidos con papeles libres de ácido, que se han categorizado por lo general con IC₁ e IC₂ dependiendo del metal.

2.2. Evaluación de la corrosividad procedente de otros materiales no metálicos

Para complementar la evaluación de la corrosividad del medio, es muy útil identificar, en la medida de lo posible, la procedencia de los agentes corrosivos. Con ello se pretende diferenciar la contribución a la corrosividad de los materiales de los propios objetos, expuestos o almacenados, así como la de los materiales que forman parte de la vitrina, sala o almacén.

Basándonos en la categorización de las zonas evaluadas en función de la corrosividad, es posible realizar un primer filtrado de los probables focos de emisiones. Para ello, también es útil la colaboración del personal del museo (conservadores, restauradores, etc.) para identificar qué objetos tienden a deteriorarse más rápidamente según su exposición o almacenaje. Una forma práctica de proceder es a través de la realización del test de Oddy, con muestras de los materiales no metálicos identificados de los que tengamos sospechas.

2.2.1. Test de Oddy

Es un ensayo de corrosión acelerada introducido por Andrew Oddy en los años 70 del pasado siglo en el British Museum, con el objetivo de identificar los materiales susceptibles de emitir COVs (Oddy, 1973). Su metodología ha sido modificada y actualizada a lo largo del tiempo con el objetivo de optimizar el procedimiento, aunque no está normalizada. Una alternativa es el procedimiento «3 en 1» (Thickett y Lee, 2004) que consiste en colocar una probeta de plata, cobre y plomo en un mismo tubo de cristal cerrado, junto con 2 g del material a analizar y un vial con 0,5 ml de agua destilada para mantener el ambiente saturado de humedad, y someterlo a una temperatura de 60°C durante 28 días (figura 3).

Los materiales seleccionados para hacer el test, son en su mayoría pequeñas piezas o componentes que forman parte de algunos de los objetos expuestos o almacenados como es el caso de los plásticos y gomas. Tras los resultados del test se podría valorar si la coexistencia de algunos materiales del mismo objeto podría ser perjudicial, dificultando por tanto la conservación de estos. Para los casos en los que identificar el foco resulte complicado, ya sea porque no se puede obtener una muestra del objeto o porque no sabemos de qué material se trata, sería necesario complementar el estudio con alguna técnica analítica como, por ejemplo, FTIR-ER, lo que permitiría una caracterización *in situ* del material no metálico.

2.3. Monitorización de cambios de color: proyecto MIPAC-CM³

Los resultados de los proyectos AIRARTE y COMPACT han mostrado la validez de la metodología basada en la exposición de probetas metálicas para medir la corrosividad de diversos ambientes dentro del

3 «Monitorización por procesado de imagen y ciencia ciudadana para la conservación de materiales del patrimonio cultural» (MIPAC-CM) Comunidad de Madrid. Convocatoria de ayudas para la realización de proyectos sinérgicos de I+D en nuevas y emergentes áreas científicas en la frontera de la ciencia y de naturaleza interdisciplinar, 2018. Y2018/NMT-4913, 01/01/2019-30/06/2022.



Figura 3. Prototipo de tubo «3 en 1» para realizar el test de Oddy. Preparación de un test blanco de referencia

Figure 3. Prototype tube for the Oddy test. Preparation of a reference blank test



Figura 4. Visitante del MUNCYT Alcobendas realizando una fotografía al panel diseñado para monitorizar el cambio de color a través de la App MIPAC-CM

Figure 4. Visitor at MUNCYT Alcobendas taking a photograph of the panel designed to monitor colour changes through the MIPAC-CM App

museo e identificar con ello riesgos para las colecciones metálicas. Aunque el método es menos costoso que los sistemas MuseCorr o OnGuard, tiene como inconveniente en su aplicación, los requerimientos de tiempo y de personal.

Para tratar de minimizar la inversión de tiempo, bajo el proyecto de investigación MIPAC-CM se está trabajando en el desarrollo de una herramienta de monitorización del impacto ambiental sobre el patrimonio metálico, a partir de los cambios de color asociados al deterioro, utilizando herramientas de ciencia ciudadana.

Como se ha visto en los proyectos anteriores, la corrosión conlleva, en muchos casos, cambios cromáticos notorios. MIPAC-CM intenta estudiar la correlación entre el cambio de color del metal y el grado de corrosión como herramienta de alerta de degradación. Para llevar a cabo esta monitorización, se analizan imágenes tomadas con teléfonos móviles por los visitantes del museo (figura 4) a través de una App⁴. Esto permite disponer de una solución flexible, escalable y de bajo costo para recopilar datos de conservación, y por otro lado, fomentar el compromiso de la sociedad con su patrimonio.

Una vez que las fotografías son subidas con la App, se calibran utilizando una carta de colores con 64 coordenadas cromáticas en el espacio de color sRGB y se van monitorizando las diferencias de

4 <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.norrispalmer.mipac>



Figura 5. Ejemplo de panel con la carta de referencia y las probetas de plata y cobre que actúan como dosímetros para poder llevar a cabo la monitorización

Figure 5. Example of a panel with the reference chart and silver and copper coupons acting as dosimeters for monitoring purposes

color de las probetas respecto al primer día de exposición (Barbero-Álvarez, Menéndez y Rodrigo, 2020). De esta forma, se pueden extraer los datos de las variaciones de color con el tiempo permitiéndonos detectar si se está produciendo corrosión en los dosímetros de alguna vitrina y por tanto existen emisiones de sustancias corrosivas (Ramírez Barat *et alii*, 2021). Actualmente esta estrategia se está ensayando en varias localizaciones del MUNCYT Alcobendas y A Coruña, en el Museo Nacional de la Ciencia y la Técnica de Cataluña (MNACTEC) y en las vitrinas de la Facultad de Ciencias Químicas de la UCM, donde se han colocado una serie de paneles (figura 5) con la carta de color de referencia, un código BIDI que nos permite localizar en qué vitrina está situado el dosímetro, varias probetas de plata y cobre, y un indicador de pH.

3. Conclusiones

Se ha podido comprobar que es posible desarrollar estrategias al alcance de cualquier museo para cuantificar la corrosión de objetos metálicos en exposición y la corrosividad del medio en el que se encuentran. Se han planteado herramientas que destacan por su bajo coste, accesibilidad y escaso mantenimiento. Además, es posible facilitar y fomentar la participación de los visitantes en algunos de los proyectos, para que sean conscientes de la problemática a la que se enfrenta el patrimonio y como pueden contribuir a su conservación.

Son estrategias que facilitan la labor de los conservadores ya que, si se analiza el ambiente de exposición, se facilita la identificación de los riesgos y se pueden tomar medidas de conservación preventiva y museográficas más específicas que ayudarán a ralentizar o paliar el deterioro de las piezas. Para ello, también es esencial conocer la problemática que tienen las colecciones mixtas y la compatibilidad que puede darse entre sus diferentes materiales.

Además, la implementación de sistemas como el del proyecto MIPAC-CM, permite recoger una gran cantidad de datos de deterioro que pueden utilizarse para realizar otros estudios a mayor escala en un gran número de museos, comparando los resultados al verse involucrados otros factores como el clima, los flujos de visitantes, los materiales de las colecciones, etc.

Agradecimientos

Estos estudios han sido financiados por el Ministerio de Ciencia e Innovación, bajo el proyecto AIRARTE (RTC-2015-4269-6), COMPACT (HAR2017-89911-R), el contrato predoctoral PRE2018-086667 y por la Comunidad de Madrid y el Fondo Social Europeo, bajo el proyecto MIPAC-CM (Y2018/NMT-4913). Los autores agradecen el apoyo de la Plataforma Temática Interdisciplinar «Patrimonio Abierto: Investigación y Sociedad» (PTI-PAIS) del CSIC, así como la colaboración del MUNCYT, MAN, MNACTEC y Facultad de Ciencias Químicas de la UCM.

Bibliografía

- Barbero-Álvarez, M.A., Menéndez, J.M. y Rodrigo, J.A. (2020): “An Adaptive Colour Calibration for Crowdsourced Images in Heritage Preservation Science”. *IEEE Access*, 8: 185093–185111. <doi: 10.1109/ACCESS.2020.3017390>.
- Grzywacz, C.M. (2006): *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments*. The Getty Conservation Institute. Los Angeles.
- Kouril, M. *et alii* (2014): “Corrosion monitoring in archives by the electrical resistance technique”. *Journal of Cultural Heritage*, 15(2): 99-103. <doi: 10.1016/J.CULHER.2013.04.002>.
- Leal, J. (2016): “Dificultades en la conservación-restauración del Patrimonio Industrial Mueble”. *Jornadas de conservación-restauración del Patrimonio Industrial Mueble*: 61-71. Candás.
- Oddy, W.A. (1973): “An unsuspected danger in display”, *Museums Journal*, 73(1): 27-28.
- OnGuard Smart - Purafil* (2021): Disponible en: <<https://www.purafil.com/products/monitoring/active-monitoring/onguard-smart/>> (acceso: 20 de septiembre de 2021).
- Ramírez Barat, B. *et alii* (2021): “Design and validation of tailored colour reference charts for monitoring cultural heritage degradation”, *Heritage Science*, 9(1): 1-9. <doi: 10.1186/S40494-021-00511-6>.
- Tetreault, J. (2003): *Airborne pollutants in museums, galleries and archives: risk assessment, control strategies and preservation management*, Canadian Conservation Institute. Ottawa.
- Thickett, D. y Lee, L.R. (2004): *Selection of materials for the storage or display of museum objects*. The British Museum Occasional Paper. London.
- UNE-EN ISO 11844:2020 (Partes 1, 2 y 3): “Corrosión de metales y aleaciones. Clasificación de la baja corrosividad de las atmósferas de interior”.



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).