

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 bronzes 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

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

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

Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales
Universidad de Cádiz
elisa.tudela@uca.es
<https://orcid.org/0000-0003-4565-7690>

LUIS CARLOS ZAMBRANO VALDIVIA

Museo de Cádiz
luisc.zambrano@juntadeandalucia.es
<https://orcid.org/0000-0002-7456-8147>

MANUEL BETHENCOURT

Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales
Universidad de Cádiz
manuel.bethencourt@uca.es
<https://orcid.org/0000-0002-0488-7097>

Resumen

Este trabajo ofrece una visión preliminar del estado de conservación del conjunto de 87 cepos de plomo de época antigua pertenecientes al Museo de Cádiz. Las alteraciones identificadas pueden diferenciarse en dos grupos principales, aquellas provocadas durante la vida útil del objeto, como deformaciones, fracturas y fisuras, etc., y las propias de la alteración físico-química del plomo en el medio subacuático. La abundancia de alteraciones a nivel superficial junto al gran número de los cepos que presentaban elementos superficiales de interés arqueológico, como marcas de uso y de fabricación o elementos decorativos, aconsejó realizar un diagnóstico conjunto del estado de conservación para dichas piezas afectadas por patologías similares. Este diagnóstico ha servido como base para establecer una doble metodología de conservación y restauración dirigida a la estabilización físico-química de los objetos y la recuperación de huellas documentales. Dentro de los objetivos de esta investigación estaba la identificación de las fases de alteraciones para lo que se han usado diferentes técnicas de análisis (DRX, SEM-EDX y MO). Para la posterior remoción selectiva de los productos de alteración inestables superpuestos a las huellas documentales se han realizado pruebas con geles rígidos de agar-agar y EDTA.

Palabras clave: cepo de ancla, plomo, alteración del plomo, EDTA, agar-agar

Abstract

This work offers a preliminary view of the state of conservation of a set of 87 lead stocks from the ancient times belonging to the Museum of Cadiz. The alterations identified can be divided into two main groups: those caused during the useful life of the object, such as deformations, fractures and cracks, etc., and those caused by the physical and chemical alteration of lead in the underwater environment. The abundance of surface alterations, together with the fact that a large number of the stocks studied had surface elements of great interest, such as marks of use and manufacture or decorative elements, made it necessary to carry out a diagnosis of the state of conservation of this large group of objects affected by similar pathologies. This diagnosis served as the basis for establishing a dual conservation and restoration methodology aimed at the physico-chemical stabilisation of the objects and the recovery of documentary traces. Among the objectives of this research were the identification of the phases of alterations for which different analysis techniques were used (DRX, SEM-EDX and MO). For the subsequent selective removal of the unstable alteration products superimposed on the documentary traces, tests were carried out with rigid agar-agar and EDTA gels.

Key words: anchor stock, lead, lead alterations, EDTA, agar-agar

1. Introducción

El empleo del plomo para la fabricación de cepos de ancla se documenta desde el 600 a. C., con el uso predominante de este metal durante la Edad Antigua hasta su posterior desplazamiento por el hierro. Los cepos de ancla romana fabricados en plomo son elementos muy comunes a lo largo de todo el Mediterráneo y parte del Atlántico.

Desde principios del siglo XX han sido objeto de estudio de diferentes autores que se han centrado en analizar la evolución, las tipologías y la atribución cronológica de estos (Haldane, 1984; Kapitän, 1984; Perrone, 1979).

A pesar del gran número de cepos de plomo de procedencia subacuática que se pueden encontrar en las colecciones de museos, dicha tipología de objetos ha suscitado en general escaso interés sobre sus problemas de conservación. Esto se debe principalmente a las características físico-químicas de este metal que lo hacen resistente a la corrosión, y en consecuencia ofrece unos cuadros de alteración moderados. Sin embargo, en ocasiones, la ausencia de tratamientos de conservación preventiva ha ocasionado, a medio y largo plazo, problemas derivados de patologías ocultas y no atendidas.

Esta investigación se centra en analizar las alteraciones físico-químicas existentes en un conjunto de cepos de plomo pertenecientes al Museo de Cádiz, con una problemática común basada en la superposición heterogénea de diferentes fases minerales sobre la capa original del objeto que dificulta su estudio e interpretación. La dificultad para la conservación y restauración de estos radica en el interés de las huellas documentales, que se encuentran ocultas bajo dichas alteraciones y en el hecho de hallarse sustentadas en un metal tan dúctil como el plomo donde cualquier instrumental producirá modificaciones destructivas.

Para el análisis de los productos de alteración se han empleado la Microscopía Óptica (MO), Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) con Microanálisis de Energía Dispersiva (EDS) y Difracción de Rayos X (DRX). Para el tratamiento de eliminación de estos se han realizado pruebas con gel agar-agar combinado con EDTA.

La colección de cepos de ancla en proceso de estudio cumple las características idóneas para llevar a cabo esta investigación ya que, a pesar del buen estado de conservación general, se aprecian rasgos de alteración genéricos y poco estudiados que son extensibles a la totalidad de los cepos de plomo de procedencia submarina. Un diagnóstico integral del estado de conservación es el punto de partida para diseñar una metodología que aborde simultáneamente la estabilización físico-química y la recuperación de huellas documentales ocultas bajo capas de concreción.

2. Material y método

El diagnóstico preliminar de las alteraciones se ha realizado mediante el análisis organoléptico. Atendiendo a los objetivos establecidos se han seleccionado diferentes técnicas analíticas: Microscopía Óptica (MO) a través de un microscopio estereoscópico modelo Leica Z6 ZPO A y microscopio metalográfico Leica DM ILM, que permitió una primera visualización y aproximación de las características y detalles de las muestras preparadas en sección transversal y embutidas en resina; Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) con Microanálisis de Energía Dispersiva (EDS) mediante un equipo modelo Nava NanoSEM 450 Fei, empleado para la caracterización elemental de las diferentes capas de productos de alteración; Difracción de Rayos X (DRX) para la identificación de las diferentes fases minerales con un difractómetro Bruker modelo D8ADVANCE A25.

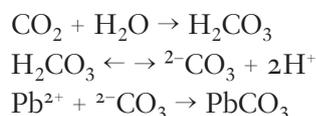
Las muestras se tomaron en diferentes zonas de uno de los cepos que presentaba las características de alteración comunes presentes en la mayoría de la colección. Las muestras fueron embutidas mediante una resina en frío para evitar la alteración del plomo. Posteriormente fueron pulidas y esmeriladas siguiendo el proceso que corresponde al Área A del metalograma Struers para metales blandos.

Para la recuperación de huellas documentales se empleó la limpieza química con la sal disódica del ácido etilendiaminotetracético (EDTA) vehiculizada en gel de agar-agar.

3. Resultados y discusión

3.1. La alteración del plomo arqueológico y su conservación

La alteración de los objetos de plomo ha sido ampliamente estudiada en el contexto de los ambientes arqueológicos terrestres. La alteración del plomo en estas circunstancias genera unos productos de alteración derivados de la relación del metal con el medio atmosférico. Un ejemplo es el proceso de carbonatación por acción del CO_2 que puede estar tanto en la atmósfera como en el sustrato del yacimiento terrestre. Este se combina con el agua formando ácido carbónico (H_2CO_3), un ácido débil cuya sal de plomo es el carbonato de plomo (PbCO_3):



Esta reacción se da en suelos húmedos y ácidos, creándose una capa porosa de carbonatos sobre la superficie del objeto. Esta capa es porosa y permite la difusión de iones que llegan al núcleo y rompen la capa de óxido de plomo (PbO) que protege al objeto, dando lugar a un proceso de mineralización continuo (Barrio *et alii*, 2005). Entre las fases minerales que podemos encontrar en plomos arqueológicos de procedencia terrestre están los carbonatos de plomo, siendo los principales minerales la cerusita (PbCO_3) y la hidrocerusita [$\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$], aunque también es posible encontrar referencias a la fosgenita [$\text{Pb}_2(\text{CO}_3)\text{Cl}_2$]; los sulfuros y sulfatos como la galena (PbS) y la anglesita (PbSO_4); u óxidos como el litargirio (PbO).

En el caso de medios acuáticos, la investigación ha sido más escasa. Los procesos de alteración que se van a dar en los metales dependerán de las características propias de este medio. Entre los productos de alteración citados en la bibliografía están la galena, la anglesita y la laurionita (Tylecote, 1983; MacLeod, 1991; Edwards *et alii*, 1992).

De forma generalizada, la bibliografía hace referencia a tres productos de alteración como los principales de los objetos de plomo arqueológicos en ambientes marinos: galena (PbS) para ambientes anaeróbicos, y anglesita (PbSO_4) y laurionita [$\text{Pb}(\text{OH})\text{Cl}$] para ambientes aeróbicos (Pearson, 1979). Sin embargo, diferentes autores han estudiado el comportamiento de este metal en agua marina, describiendo la formación de diferentes fases minerales, especialmente los cloruros de plomo, pero también óxidos, sulfatos y sulfuros (Tylecote, 1983; Domenech-Carbó *et alii*, 2011).

Las diferencias entre los grados de alteración presentes en esta colección se deben a las características de los ambientes marinos a los que se han visto expuestos. Un medio marino aeróbico dará lugar a unos productos de alteración específicos que a su vez permitirán la colonización biológica del objeto una vez estabilizado. Sin embargo, encontramos cepos con apenas una pátina, generalmente de color oscuro, que hace pensar en un ambiente de alteración anaeróbico.

A estos ambientes de alteración en medios marinos se suman los mecanismos de alteración una vez extraídos del mar. En la mayoría de los casos se desconoce la procedencia exacta de los cepos depositados en el Museo, así como el momento y métodos de extracción, lo que impide conocer los mecanismos de alteración específicos a los que se han visto expuestos a lo largo de los años.

Los estudios sobre tratamientos de conservación y restauración de objetos arqueológicos de plomo se han centrado en los últimos años en tres métodos: la limpieza química de carácter ácido, los tratamientos electrolíticos de limpieza y de reducción, y más recientemente la limpieza láser (Barrio *et alii*, 2013). Siendo los más empleados la limpieza mecánica con agentes abrasivos en suspensión, seguida por la limpieza química con agentes quelantes (EDTA) y la reducción potencioestática de los productos de alteración en solución acuosa (Na_2SO_4) (Palomar y Cano, 2018).

3.2. Estado de conservación

El gran número de cepos estudiados y la diversa procedencia de los mismos implica una variada casuística en los procesos de alteración observados. No obstante, es posible establecer una serie de alteraciones comunes que pueden dividirse en dos grupos principales. Por un lado, las propias de los daños físico-mecánicos sufridos durante la vida útil de estos objetos que se someten a grandes esfuerzos y continuos impactos por la funcionalidad propia del ancla como elemento de fondeo. Entre estas alteraciones podemos encontrar deformaciones estructurales (torsiones), deformaciones puntuales (aplastamientos y abolladuras), fracturas con pérdida de material, grietas pronunciadas o pequeñas fisuras (figura 1). Este tipo de alteraciones se engloban en lo que comúnmente se denomina como huellas de uso.

En el otro grupo de alteraciones hemos agrupado aquellas que son ocasionadas por los distintos factores medioambientales durante la permanencia de los objetos en el medio marino. En este denominado periodo de abandono cada objeto arqueológico experimenta un proceso de adaptación a las características más o menos estables del lugar que ocupa. Las relaciones físico-químicas con el entorno producirán durante este periodo una serie de transformaciones a las que llamamos huellas de abandono.

Del conjunto de 87 ejemplares estudiados contamos con un total de 72 cepos completos y 15 cepos incompletos.

Las alteraciones superficiales las agrupamos según el grado de conservación de los productos de alteración. 80 ejemplares cuentan con abundantes productos de corrosión superficiales, y 7 que presentan solo una fina pátina (figura 1).

Entre el conjunto de alteraciones detectadas ha sido posible establecer tres categorías o cuadros de alteración genéricos donde asimilar cualquiera de los objetos estudiados:

- Grupo de cepos que presentan capas gruesas de productos de alteración homogéneas y uniformes con un buen grado de cohesión y adhesión al sustrato.
- Grupo de cepos que presentan productos de alteración heterogéneos con un alto grado de disgregación e inestabilidad física.
- Grupo de cepos con núcleo metálico poco alterado cubierto por una pátina de productos de alteración.

Del total al menos 11 presentan elementos superficiales identificables como decoración en relieve, inscripciones y huellas de fabricación y uso. El cepo seleccionado para las pruebas de limpieza presentaba relieves de cuatro delfines, una figura antropomorfa y al menos cuatro cartelas, una de ellas con restos de epigrafía.

3.3. Análisis de las alteraciones

El empleo de microscopia estereoscópica y metalográfica sobre las muestras tomadas en diferentes zonas de uno de los cepos permitió un estudio óptico inicial con aproximación de las características y detalles de las muestras (figura 2).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 1. a. Detalle de los diferentes estados de conservación presentes en la colección de cepos del Museo de Cádiz. b, c. Detalle de los productos de alteración presentes en la superficie y su grado de descohesión. d. Presencia de colonización biológica sobre los productos de alteración. e. Ejemplo de cepo que presenta escasos productos de alteración y donde se pueden apreciar posibles marcas de uso

Figure 1. a. Detail of the different states of conservation present in the collection of stocks in the Museum of Cádiz. b, c. Details of the alteration products present on the surface and their degree of decohesion. d. Presence of biological colonization on the alteration products. e. Example of a stock with few alteration products and where possible marks of use can be seen

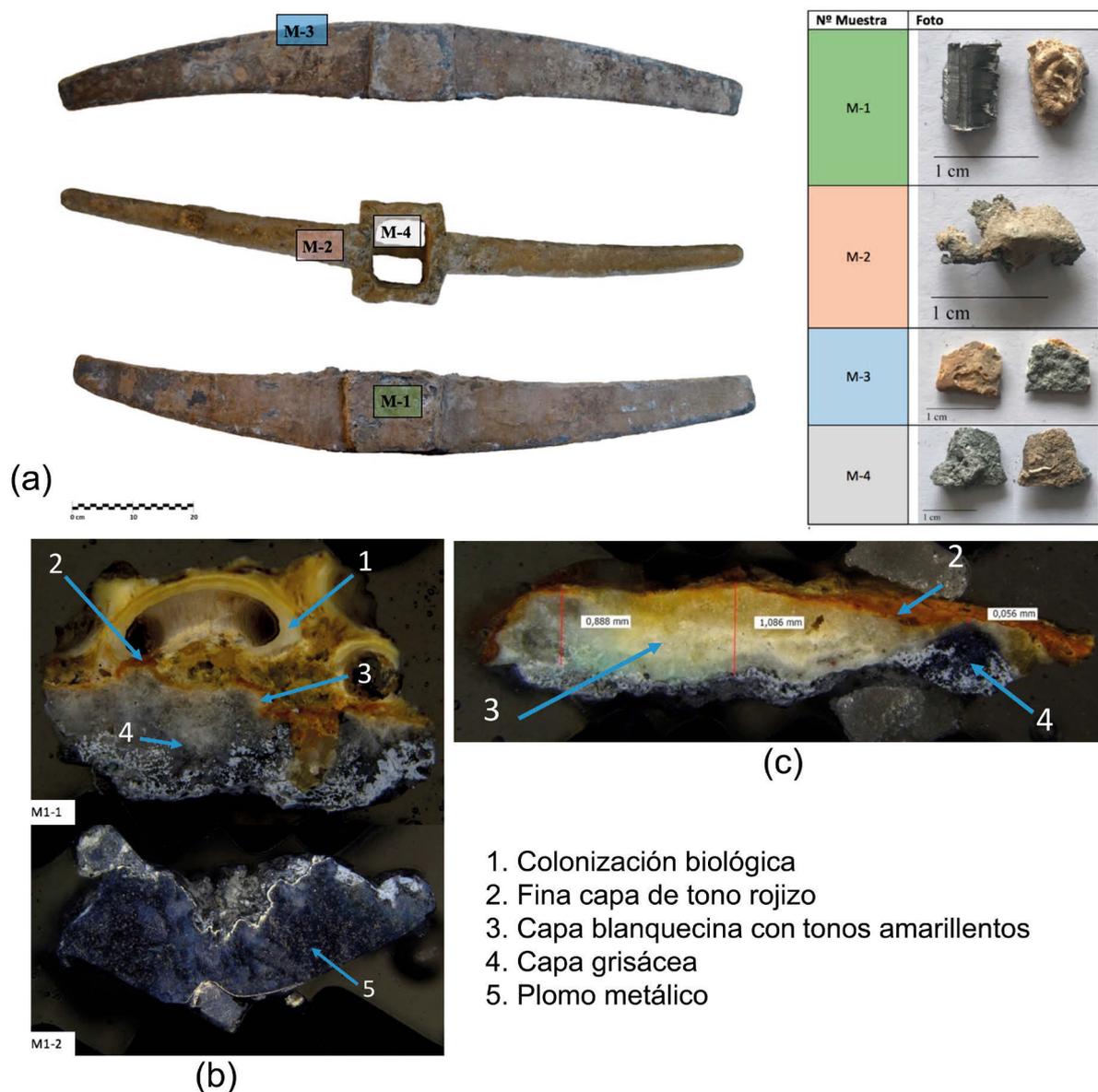


Figura 2. a. Detalle de la zona de toma de muestra para su análisis. b, c. Detalle de las muestras donde se pueden apreciar los diferentes estratos identificados bajo microscopía óptica (MO)

Figure 2. a. Detail of the sample collection area for analysis. b, c. Detail of the samples where the different layers identified under optical microscopy (MO)

Las primeras observaciones permitieron conocer una secuencia estratigráfica con diferentes productos de alteración que, tras cubrir la superficie metálica, habría permitido la colonización biológica del objeto.

Estos productos de alteración se concentran formando una amalgama con inclusiones de restos de sedimento, posiblemente granos de arena. Gracias a la observación bajo microscopio hemos podido identificar al menos 4 fases diferenciadas que concuerdan con las alteraciones presentes en el objeto y que se han ido depositando sobre el plomo metálico hasta permitir la colonización biológica (figura 2). Entre ellas destaca una fase mineral de color blanquecino que presenta poca consistencia y que se encuentra sobre la superficie metálica. La existencia de esta fase tiene como consecuencia la inestabilidad física de los estratos superficiales con elevado riesgo de desprendimiento en costra y pulverulencia

(figura 2). Sobre esta fase inestable se encuentran otros productos que se distribuyen a lo largo de la superficie de manera mas o menos homogénea. En la mayoría de las muestras se puede apreciar sobre el estrato de color blanquecino una capa de color rojizo de aspecto compacto con un grosor poco variable (entre 0,3 a 0,6 mm). Sobre esta se aprecia un estrato compuesto por una amalgama de productos de colonización biológica y restos de sedimento. En el caso de la muestra tomada en el interior de la caja, donde originalmente se situaría la caña de madera, podemos observar unos productos de alteración ligeramente diferentes. En este caso sobre el metal se aprecia un estrato de producto de aspecto cristalino y color gris oscuro seguido de la capa rojiza y finalmente un estrato de color amarillento, probablemente resultado de la colonización biológica.

Los resultados obtenidos mediante DRX sobre esta película blanquecina indicaron la presencia de dos fases minerales, cotunnita (PbCl_2) y penfieldita [$\text{Pb}_2\text{Cl}_3(\text{OH})$], ambos cloruros de plomo que han sido poco estudiados, pero que en alguna ocasión se han documentado en estudios analíticos de cepos de plomo de procedencia subacuática (Tylecote, 1983). En los análisis realizados no se han identificado otras fases minerales. Esto puede deberse a las limitaciones de identificación por parte de las técnicas de análisis empeladas o a las características de las muestras tomadas. Un mayor número de muestras analizadas y el empleo de otras técnicas analíticas ayudaría a esclarecer la ausencia o no de otros productos.

Una de estas posibles técnicas de identificación de fases minerales es la Espectroscopía RAMAN, empleada para el estudio de minerales y pigmentos a lo largo de las últimas décadas (Roret y Madariaga, 2014; Bersani y Lottici, 2016).

3.4. Tratamientos de conservación

Para la selección de los métodos de remoción de los productos de alteración se realizó previamente una revisión bibliográfica sobre el estado de la cuestión en el diagnóstico del estado de conservación de los plomos arqueológicos y sus tratamientos de conservación. En este caso la bibliografía específica ha resultado escasa debido a la falta de investigación sobre la alteración de plomo arqueológico de procedencia subacuática.

En el caso de la propuesta de conservación de uno de los cepos de la colección se ha optado por la remoción selectiva de los productos de alteración mediante EDTA combinado con gel de agar-agar. Este sistema permite realizar una remoción selectiva de los productos de alteración evitando el esfuerzo físico de las limpiezas mecánicas, que dejan marcas en la superficie dúctil del plomo.

La metodología llevada a cabo ha consistido en la realización de diferentes pruebas variando tiempo y porcentaje de la mezcla de gel agar-agar y EDTA disódico. Finalmente se estableció un porcentaje óptimo del 10 % de EDTA disódico en diferentes tiempos de aplicación en función de la zona a tratar (figura 3).

4. Conclusiones

Se ha realizado el diagnóstico del estado de conservación preliminar de las alteraciones presentes en la colección de 87 cepos del Museo de Cádiz que, de manera general, presentan aquellas propias de objetos de plomo de procedencia subacuática. La caracterización de los productos de alteración de uno de los cepos ha servido para conocer las fases minerales presentes en el mismo.

Por lo general las alteraciones parecen repetirse a excepción de algunos cepos que solo presentan una fina pátina de productos de alteración, posiblemente por tratamientos de conservación y restauración no documentados o por la alteración en ambientes específicos como por ejemplo zonas de lodos con características anaeróbicas.

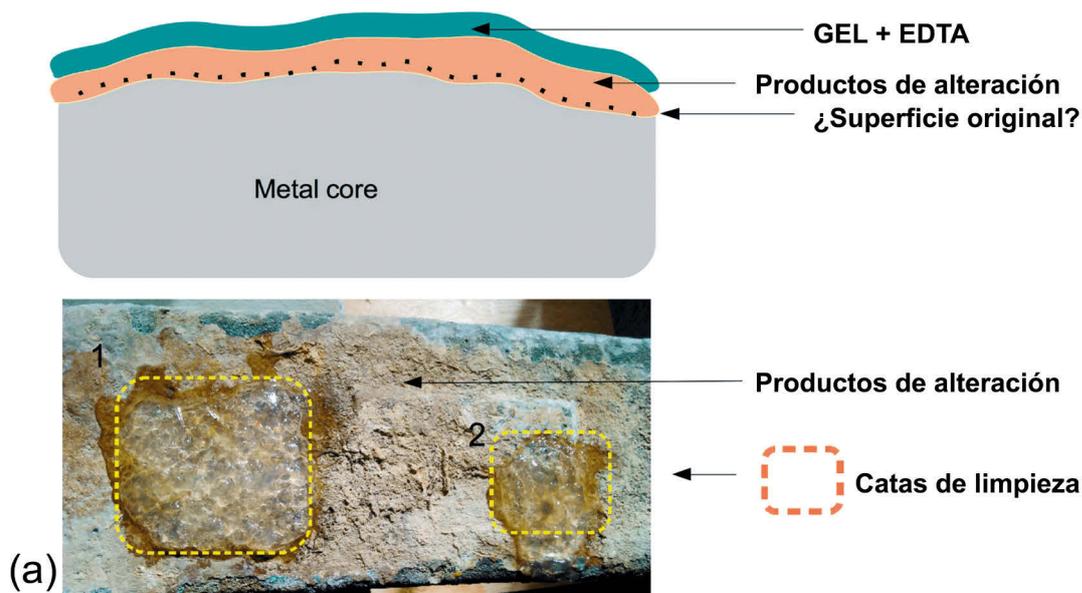


Figura 3. a. Esquema de la metodología empleada para la remoción de los productos de alteración mediante gel agar-agar combinado con EDTA disódica. b. Detalle de la superficie original antes del tratamiento de conservación y estabilización donde se puede apreciar la presencia de abundantes productos de alteración. c. Detalle de la superficie original tras el tratamiento

Figure 3. a. Diagram of the methodology used for the removal of the alteration products using agar-agar gel combined with disodium EDTA. b. Detail of the original surface before conservation and stabilization treatment, showing the presence of abundant alteration products. c. Detail of the original surface after treatment

La presencia de cepos con un mayor grado de alteración puede deberse a los ambientes a los que se han visto expuestos. Estos objetos en la mayoría de los casos han sido depositados en el Museo como fruto de extracciones descontroladas sin rigor arqueológico, lo que conlleva la falta de control en cuanto a las medidas mínimas de conservación preventiva.

Este estudio preliminar plantea la necesidad de realizar un análisis más exhaustivo de estos productos de alteración mediante la realización de muestreos en un mayor número de cepos de la colección objeto de estudio y el posible empleo de otras técnicas de análisis como la Espectroscopía Raman ya citada, ya que un diagnóstico más preciso de las alteraciones y sus productos servirá para optimizar los tratamientos y la eficacia de estos.

En cuanto a la metodología de restauración, los resultados se consideran satisfactorios por cuanto el EDTA disódico combinado con gel de agar-agar ha permitido remover los productos de alteración sin alterar la superficie original (figura 3). Este trabajo ha permitido recuperar diferentes elementos superficiales de gran valor documental como marcas de uso y elementos decorativos y epigráficos.

Agradecimientos

Trabajo realizado en el LEC-PH de la UCA, financiado por FEDER-MICIN EQC2018-004947-P.

Bibliografía

- Barrio, J., Cano, E., Pardo, A.I. y Chamón, J. (2005): "Investigación sobre el proceso de estabilización y limpieza por reducción potencioestática de un plomo epigráfico romano". *Investigación en conservación y restauración: II Congreso del Grupo Español del IIC*.
- Barrio, J., Pardo, A.I., Catalán, E., Gutiérrez, P. y Medina, M.C. (2013): "Técnicas de láser en la restauración de objetos de plomo y aleaciones blandas de procedencia arqueológica". *IV Congreso Latinoamericano de Conservación y Restauración de Metal*: 271-283.
- Bersani, D. y Lottici, P.P. (2016): "Raman spectroscopy of minerals and mineral pigments in archaeometry". *J. Raman Spectrosc.*, 47: 499-530.
- Domenech-Carbó, A., Domenech-Carbó, M.T. y Peiró-Ronda, M. A. (2011): "«One-Touch» Voltammetry of Microparticles for the Identification of Corrosion Products in Archaeological Lead". *Electroanalysis*, 23(6): 1391-1400.
- Haldane, D. (1984): *The wooden anchor*. Texas A&M University. Texas.
- Kapitän, G. (1984): "Ancient anchors-technology and classification". *The International Journal of Nautical Archaeology*, 13(1): 33-44.
- MacLeod, I.D. (1991): "Identification of corrosion products on non-ferrous metal artifacts recovered from shipwrecks". *Studies in Conservation*, 36: 222-234.
- Palomar, T. y Cano, E. (2018): "Comparative assessment of mechanical, chemical and electrochemical procedures for conservation of historical lead". *Journal of Cultural Heritage*, 30: 34-44. <<https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.10.010>>.
- Pearson, C. (1987): *Conservation of Marine Archaeological Objects*. Butterworths.
- Perrone, M. (1979): *Ancorae antiquae: Per una cronologia preliminare delle ancore del Mediterraneo*. L'Erma di Bretschneider. Roma.
- Roret, P. y Madariaga, J.M. (2014): "Applications of Raman spectroscopy in art and archaeology". *J. Raman Spectrosc.*, 52: 8-14.
- Tylecote, R.F. (1983): "The Behaviour of Lead as a Corrosion Resistant Medium Undersea and in Soils". *Journal of Archaeological Science*, 10: 397-409.



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).