

Arqueología subacuática: casos de estudio

Manuel Bethencourt Núñez (1), Nicolás C. Ciarlo (2)

(1) Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica y Química Inorgánica. Universidad de Cádiz. Laboratorio de Estudios y Conservación del Patrimonio Histórico. Ed. CASEM, Campus de Puerto Real, 11510, Puerto Real (España)

(2) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) – Instituto de Arqueología, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires. 25 de Mayo 221, 3^{er} piso (C1002ABE), Ciudad Autónoma de Buenos Aires (Argentina)

Abstract

This article summarizes a selection of the works of characterization, diagnosis and safeguarding of underwater cultural heritage (UCH) of metallic nature in which the University of Cadiz, through the Laboratory of Studies and Conservation of Historical Heritage (LEC-PH), has participated. This activity has been divided into three lines of action: the characterization of metallic materials belonging to the UCH, the proposal of stabilization measures against corrosion processes, and the implementation of in situ conservation actions following UNESCO's guidelines. The cases presented resulted from the collaboration between the University of Cadiz and other research centers and companies, with the university leading the work in some cases and participating in it in others. These cases are among those that will be presented at the seminar on the Characterization and Diagnosis of Cultural Heritage in SEM-SEA 2025.

Resumen

En este artículo se resume una selección de los trabajos de caracterización, diagnóstico y salvaguarda del patrimonio cultural sumergido (PCS) de naturaleza metálica en los que la Universidad de Cádiz, a través del Laboratorio de Estudios y Conservación del Patrimonio Histórico (LEC-PH), ha participado. Esta actividad se ha dividido en tres líneas de actuación: la caracterización de materiales metálicos pertenecientes al PCS, la propuesta de medidas para su estabilización frente a los procesos de corrosión, y la implementación de acciones de conservación *in situ* siguiendo las recomendaciones de la UNESCO. Los casos presentados son el resultado de la colaboración de la Universidad de Cádiz con otros centros de investigación y empresas, en algunos casos liderando el trabajo y en otros participando en los mismos. Estos forman parte de algunos de los ejemplos que se presentarán en el seminario Caracterización y Diagnóstico del Patrimonio Cultural del SEM-SEA 2025.

Palabras clave: patrimonio cultural sumergido, caracterización, diagnóstico, salvaguarda, metales.

1. Introducción

El litoral de la provincia de Cádiz, con más de 280 km de extensión y bañado por dos mares, cuenta en sus fondos con un patrimonio cultural sumergido (PCS) de excepcional valor. Pecios, puertos, fondeaderos, etc., son testimonios materiales de las relaciones históricas mantenidas con y por el mar por las sociedades establecidas en el entorno del Estrecho de Gibraltar a lo largo de milenios.

La comprensión y conservación de este PCS es crucial, por tratarse de un bien material que aporta respuestas de nuestro pasado y posee un destacado valor desde el punto de vista histórico, estético y antropológico. Por otra parte, el PCS debe desempeñar un papel clave en el desarrollo sostenible como motor económico, tal y como ha sido reconocido por la Unión Europea (UE), la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) o el Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS). En este sentido, entre los objetivos estratégicos de los programas económicos, el turismo, el ocio y otras actividades culturales han sido identificados como una de las grandes prioridades y oportunidades para España y Europa.

En este escenario, el Grupo del Plan Andaluz de I+D+I “Corrosión y Protección- TEP-231” de la Universidad de Cádiz (UCA), inició en el año 2004 una línea de investigación en arqueometalurgia, con el objetivo de estudiar materiales arqueológicos subacuáticos de origen metálico y proponer tratamientos de conservación y análisis de los mismos. Con el transcurso de los años y gracias a la experiencia acumulada, esta línea se transformó en el Laboratorio

de Estudios y Conservación del Patrimonio Histórico de la UCA, cuya misión es ofrecer a los investigadores y profesionales pertenecientes a esta universidad y a otras instituciones de investigación y empresas, una serie de servicios que comprenden desde la realización de estudios y análisis del patrimonio hasta la ejecución de proyectos de conservación y restauración del material cultural, histórico y arqueológico. De este modo, ha contribuido a consolidar el área de especialización de “El Valor Cultural del Mar” del Campus de Excelencia Internacional del Mar (CEIMAR).

En este documento se resume una selección de los trabajos realizados y publicados a lo largo de estos años, y, si se dio el caso, relacionarlos con las “Normas relativas a las actividades dirigidas al patrimonio cultural subacuático”, recogidas en el Anexo de la Convención sobre la Protección del Patrimonio Cultural Subacuático de la UNESCO, firmada en París el 2 de noviembre de 2001 y ratificada por España en 2005. Estos trabajos se encuentran debidamente citados para su posterior consulta por aquellos lectores que puedan estar interesados.

2. La conservación *in situ* como principio básico

El Anexo de la referida convención de la UNESCO (2001) inicia su andadura en la **Norma 1**, indicando que “La conservación *in situ* será considerada la opción prioritaria para proteger el patrimonio cultural subacuático”. Y en el caso de que sea necesario intervenir, la **Norma 3** expresa que “las actividades dirigidas al patrimonio cultural subacuático no deberán perjudicar más de lo necesario para los objetivos del proyecto”. Sobre esta idea se incide en la **Norma 4** que indica que “las actividades dirigidas al patrimonio cultural subacuático deberán servirse de técnicas y métodos de exploración no destructivos, que deberán preferirse a la recuperación de objetos”.

Esta nueva estrategia de protección del PCS obliga necesariamente a entender cómo afectan los distintos agentes, físicos, químicos y biológicos, a la preservación de los restos en el medio acuático (sobre todo, marino) y, en su caso, proponer medidas que ralenticen el deterioro de los mismos. En la **Norma 15** de este mismo anexo se indica que la evaluación preliminar de la importancia de un determinado patrimonio cultural subacuático, del entorno que lo rodea y de su vulnerabilidad “incluirlá además estudios previos de los datos históricos y arqueológicos disponibles, las características arqueológicas y ambientales del sitio y las consecuencias de cualquier posible intrusión en la estabilidad a largo plazo del patrimonio cultural subacuático objeto de las actividades”.

Siguiendo estos preceptos, investigadores de la UCA (Bethencourt et al., 2018) estudiaron la artillería de dos pecios vinculados a la Batalla de Trafalgar (1805), en el marco del proyecto ARQUEOMONITOR (2010) aplicando un enfoque holístico e interdisciplinar basado en el desarrollo de estas cuatro de las treinta y seis normas de la referida Convención. Por un lado, se desarrolló una técnica de prospección no destructiva para obtener información de los cañones y anclas dispersos en el fondo marino sin alterar su estado (**Norma 4**). Se trataba de un sistema combinado de desconcreción, documentación y control de la corrosión como alternativa para una documentación «suficiente» *in situ* y con una mínima alteración del objeto (**Norma 3**). Este sistema se basa en los trabajos descritos por MacLeod (1995, 2002) y Gregory (1995), y patentado en Bethencourt et al. (2005), tal como se aprecia en la **Figura 1**.

Tras el acceso a las zonas de interés documental, eliminando de forma selectiva la concreción, se procedía al registro del sector expuestos de la pieza. Para reposicionar el hierro en la zona de pasividad en el diagrama de Pourbaix empleamos un recubrimiento que aísla el metal del medio agresivo. Este mecanismo, denominado efecto barrera, se basa en la protección del objeto mediante el aislamiento eléctrico que se produce al interponer una película sólida y continua entre el metal y el medio corrosivo, en este caso una resina epoxi de dos componentes.

Los trabajos realizados proporcionaron información sobre las marcas de fábrica, que a su vez brindaron indicios sobre ambos pecios, el *Fougueux* y el *Bucentaure*, dos navíos de línea de la Marina de Guerra francesa. Asimismo, mediante el procedimiento aplicado fue posible caracterizar el estado de conservación de las piezas sin poner en peligro su futura preservación en el medio marino. Además, las mediciones de las principales variables físicas, químicas y biológicas que interaccionan con las piezas permitieron correlacionar el estado de conservación en cada sitio con las condiciones del medio marino (**Norma 15**). Así, mediante la técnica propuesta fue posible obtener información sobre las capas de concreción en cañones de hierro (de las que hablaremos con más detalle en el siguiente apartado) localizados en ambos yacimientos, y relacionar algunas diferencias en su estado de conservación con la situación que ocupaban en el lecho marino (sustrato arenoso-rocoso, grado de enterramiento, etc).

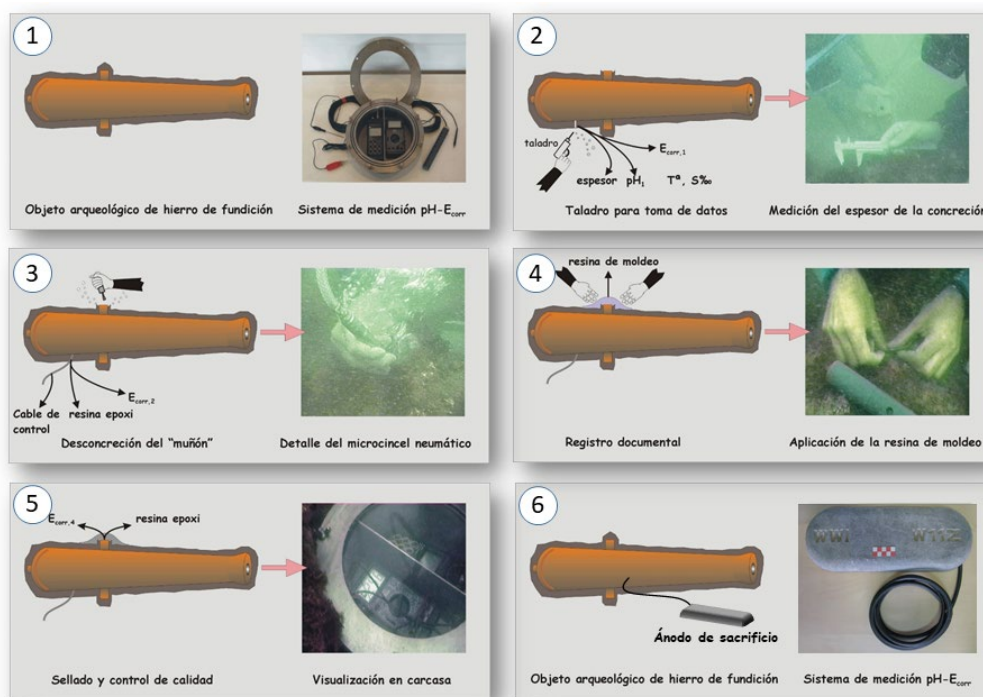


Fig. 1. Etapa 1 a 5: pasos seguidos en la desconcreción parcial controlada y posterior protección de zonas de interés documental en un cañón. Etapa 6: protección mediante ánodo de sacrificio (adaptado de Bethencourt et al., 2005).

A pesar de la proximidad espacial de los dos yacimientos, que son de la misma época, existen diferencias en el estado de conservación de los restos asociados. Se ha observado que las concreciones biológicas asociadas a los 18 cañones estudiados en el *Fougueux* son diferentes a las de los 16 examinados en el *Bucentaure*. Frente a la capa de concreción calcárea de los cañones del *Fougueux*, uniforme y delgada (de unos 5 mm de espesor medio), los cañones del *Bucentaure* presentan una capa de concreción más gruesa, de hasta 30 mm de espesor. Además, se midió el pH en el interior de las concreciones y el potencial de corrosión (E_{corr}) asociado a cada uno de los cañones estudiados. Con estos datos se pudieron establecer las ecuaciones de velocidades de corrosión para cada yacimiento siguiendo la propuesta de MacLeod (1995):

$$\text{Log}(V_{corr}) = M \cdot E_{corr} + C \quad (\text{Ecuación 1})$$

Así, en el pecio del *Fougueux*, pudo determinarse que los grandes objetos de hierro se están corroyendo a un ritmo más elevado (entre 0,180 y 0,246 mmpy) debido a la elevada removilización y transporte de sedimentos inducidos por el oleaje, causando daños por efecto mecánico directo sobre el material metálico y por la eliminación de la capa de productos de corrosión desarrollada sobre los artefactos. Por otro lado, la artillería del *Bucentaure*, cubierta por gruesas capas de concreción biológica, está bien conservada, con índices de corrosión más bajos (de 0,073 a 0,126 mmpy). Por último, se evaluó la eficacia de la protección catódica como medida temporal de conservación *in situ* (**Norma 1**) en un cañón del *Bucentaure*. Finalmente, el empleo de un ánodo de sacrificio (**Figura 1.6**) durante 9 meses redujo la velocidad media de corrosión de uno de los cañones de 0,103 a 0,064 mmpy, y el porcentaje de velocidad de corrosión en un 37,9%.

3. Cuando hay que extraer

La Convención de la UNESCO reconoce que la opción prioritaria (conservación *in situ*) no es siempre la preferible y, en ciertas circunstancias la propia **Norma 1** indica que la extracción de los objetos “podrá autorizarse cuando constituyan una contribución significativa a la protección, el conocimiento o el realce de este patrimonio”. Así, en 2005 la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía autorizó la extracción de dos piezas de artillería del *Bucentaure* para su estudio, conservación y posterior musealización. Para plantear el tratamiento más óptimo se llevó a cabo una experiencia previa con una bala de cañón descontextualizada (Gil et al., 2003).

Estas piezas de fundición, bala y cañones, estaban recubiertas por gruesas concreciones de naturaleza calcárea proveniente de material esquelético de organismos marinos, que interacciona con especies metálicas en difusión Fe^{2+} y Fe^{3+} procedentes del metal subyacente, que producen modificaciones químicas en su composición. El resultado es una envoltura mineral compacta adaptada a la superficie del objeto. En el interior de la concreción, el objeto sufre un proceso de corrosión que transforma el hierro en compuestos químicos distribuidos en fases uniformes desde el núcleo metálico remanente hasta la zona exterior grafitizada, compuesta por H_2O , $\text{FeO}(\text{OH})$, SiO_2 , Fe_3C , cloruros de hierro y grafito. En función del tiempo de inmersión y de las condiciones físico-químicas del entorno, en el núcleo del metal estarán presentes ferrita y perlita no corroídas o parcialmente corroídas, en secciones contiguas a la zona grafitizada. En ambientes con un exceso de iones cloro libres, estos se incorporan en la primera monocapa de algunos productos de corrosión.

Debido a las condiciones anteriores, si el objeto arqueológico se seca parcialmente al aire, los componentes del cloruro de hierro se descomponen para formar Fe_2O_3 , FeCl_3 , HCl y $\text{FeO}(\text{OH})$, que proporcionan unas condiciones ideales para la corrosión. El proceso de degradación total está determinado en gran medida por dichos iones Cl^- que están presentes en la zona grafitizada en concentraciones de entre el 6-12 % en peso. La alta concentración de Cl^- presente en estos objetos procedentes del medio marino, es directamente responsable de su deterioro mediante un proceso local de acidificación conocido como corrosión activa, y el fin de todo tratamiento de conservación de hierro arqueológico debe ser su eliminación. En este trabajo se eligió la electrólisis, aplicando intensidades bajas de corriente que minimizasen la evolución de hidrógeno en el cátodo y aumentasen la velocidad de extracción de los Cl^- , al incrementar el área disponible para su difusión.

Un examen de diferentes técnicas de limpieza de cloruros, ha mostrado que el paso limitante en la liberación de los mismos, es su difusión desde los productos de corrosión. El aumento de la velocidad de difusión de los Cl^- en los productos de corrosión se consigue transformando los compuestos de hierro en otros más densos mediante su reducción. Dicha reducción se puede llevar a cabo por varios medios, siendo la electrólisis uno de los más eficaces. Adicionalmente, el empleo de intensidades de corriente bajas permite conseguir la consolidación de la zona grafitizada debido a la reducción de los oxihidróxidos de hierro que la componen, principalmente akaganeita $\text{Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})(\text{Cl}_x)$, que se transforma inicialmente en goethita α $\text{FeO}(\text{OH})$ y posteriormente en magnetita Fe_3O o $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$. Este compuesto, más denso, favorece la difusión de los iones cloruros desde el interior de la pieza y consolida la parte metálica externa evitando posteriores oxidaciones.

A diferencia de otros estudios, los productos de corrosión del hierro fueron analizados desde un punto de vista estructural y mineralógico, lo que permitió utilizar el análisis de los patrones de difracción de rayos X para comprobar la eficacia del tratamiento electrolítico en la extracción de cloruros. El análisis de estos patrones se llevó a cabo mediante el método Rietveld, superando el inconveniente que tiene el uso de tales perfiles en el análisis primario de los productos de corrosión de hierro, debido al solapamiento de picos de difracción que presentan los diferentes óxidos y oxihidróxidos. La composición interna del objeto correspondía a α -Fe, cementita y cuarzo, compuestos minerales de los principales elementos presentes (Fe, Si, C) que tienen su origen en el proceso de fundición. Esta composición permaneció inalterada tras el tratamiento. El análisis de Rietveld de los patrones XRD de la superficie corroída antes del tratamiento, permitió la identificación de akaganeita, por deconvolución del pico de mayor intensidad, con una estequiometría $\text{Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})(\text{Cl}_{0,19})$. La presencia de este compuesto se confirmó mediante SEM y análisis elemental del espectro EDX correspondiente. Tras el tratamiento de electrólisis, las fases minerales presentes en la superficie que contenían hierro fueron goethita α $\text{FeO}(\text{OH})$ y magnetita Fe_3O o $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$, que no presentan Cl^- (Figura 2).

De este hecho, se dedujo que la electrólisis produjo la extracción de los cloruros de la pieza, dato que confirmó el espectro EDX, induciendo la inestabilidad estructural de akaganeita y su desaparición. Por tanto, el análisis de Rietveld de los espectros XRD, se muestra como una herramienta muy útil que permite monitorizar el tratamiento electrolítico, controlando la presencia de akaganeita en la muestra. Una vez comprobada la eficiencia del tratamiento en la bala, se procedió al tratamiento de los dos cañones extraídos del *Bucentaure*. Este mismo método fue empleado para la estabilización a mayor escala de 17 cañones en 2009, procedentes de la Batería del Caballero Zuazo, San Fernando (Cádiz) (Sánchez Pedreño et al., 2022).

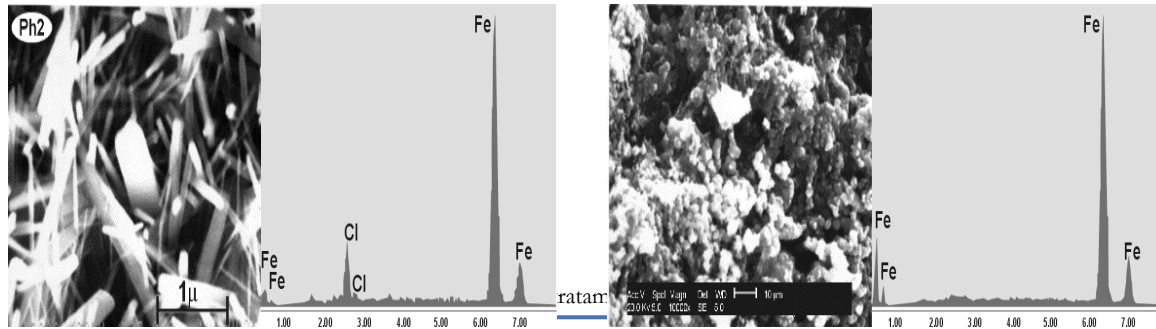


Fig. 2. Imágenes SEM y espectros EDX de: Izquierda: la muestra sin tratar, mostrando estructuras de akaganeita y presencia de Cl. Derecha: la muestra tratada, mostrando estructuras de goethita y ausencia de Cl (adaptado de Gil et al., 2003).

4. La información contenida

Una de las líneas de trabajo del LEC-PH es el análisis de los restos de procedencia subacuática, principalmente de pecios, con el objetivo de profundizar el conocimiento sobre la tecnología náutica y metalúrgica. Desde una perspectiva integral, documental, arqueológica y arqueométrica, se han estudiado evidencias arqueológicas de numerosos sitios de época antigua y moderna. En particular, destacan los trabajos realizados sobre elementos vinculados al casco, equipamiento, artillería y cargamentos de diferentes embarcaciones de madera. En su mayoría, los estudios han sido realizados sobre restos de naturaleza metálica: materiales ferrosos y no ferrosos, y entre estos últimos, principalmente de cobre y sus aleaciones (bronces y latones).

Dentro de este contexto, la aplicación de técnicas instrumentales analíticas para la caracterización físico-química de objetos metálicos de procedencia arqueológica permite obtener nuevos datos para discutir aspectos vinculados a los materiales y procesos utilizados para su fabricación. La selección de los medios empleados se realiza en función de los interrogantes de investigación, siendo habitual la combinación de más de una técnica. La interpretación de los datos obtenidos, según el caso, se lleva a cabo utilizando bases de datos de referencia, herramientas estadísticas, información histórica y paralelos arqueológicos. En este sentido, estudios a nivel comparado (al interior de cada sitio y entre diferentes pecios) permiten superar los límites propios del objeto y discutir aspectos más generales acerca de los conocimientos y prácticas de la época, e incluso procesos a mayor escala, como el cambio tecnológico.

Entre los casos de estudio, mencionamos como ejemplo la caracterización de un conjunto de cañones de bronce y subproductos de fundición transportados como chatarra a bordo de un barco mercante neerlandés que se hundió en el puerto de Cádiz hacia el tercer cuarto del siglo XVII (Ciarlo et al., 2023). Los cañones fueron identificados a través de su diseño, decoración y marcas, rasgos que se asocian a un renombrado taller de fundidores de campanas y cañones que estableció Matthias Benningk en Lübeck, norte de Alemania, que tuvo una importante trayectoria a lo largo del siglo XVII (Figura 3). Por comparación con piezas de museos asociadas a esta familia, es probable que los cañones estudiados hayan sido fundidos hacia el segundo o tercer cuarto de aquella centuria. Entre los restos recuperados, uno exhibe una variante del escudo de armas de Hamburgo, lo que sugiere que la pieza fue hecha por encargo para esta ciudad. Cabe destacar que los productos defectuosos y subproductos de fundición solían reciclarse (refundirse), al igual que sucedía con los cañones deteriorados por el uso, de allí que semejantes materiales no suelen preservarse en contextos arqueológicos. El caso bajo estudio, por ende, constituye una fuente de singular interés para conocer los pormenores del proceso de fundición de cañones.

El análisis de las piezas fue realizado a nivel macroscópico, microestructural y de composición química. Una inspección visual permitió, en el caso de los fragmentos de cañones, reconocer el diseño, decoración y marcas de fábrica de las piezas, así como diferentes evidencias vinculadas a la fallida producción. Esta última se analizó de forma más exhaustiva por medio de metalografía, utilizando microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido. En relación con lo anterior, los elementos mayoritarios y minoritarios de la aleación se determinaron por medio de EDX. Los datos recabados, evaluados a la luz de tratados de metalurgia y fundición de la época, permitieron discutir aspectos sobre la calidad y manufactura de los cañones y las dificultades técnicas asociadas a este laborioso y costoso arte. En particular, se analizaron los defectos asociados a errores cometidos en las diferentes etapas de la producción: preparación del patrón y molde del cañón; encendido del horno y fundición de la materia prima; y proceso de colada y enfriamiento. Así, con base en una aproximación interdisciplinaria, se aportó nueva evidencia sobre los conocimientos y práctica cotidiana de una familia de fundidores renacentistas del norte de Europa.

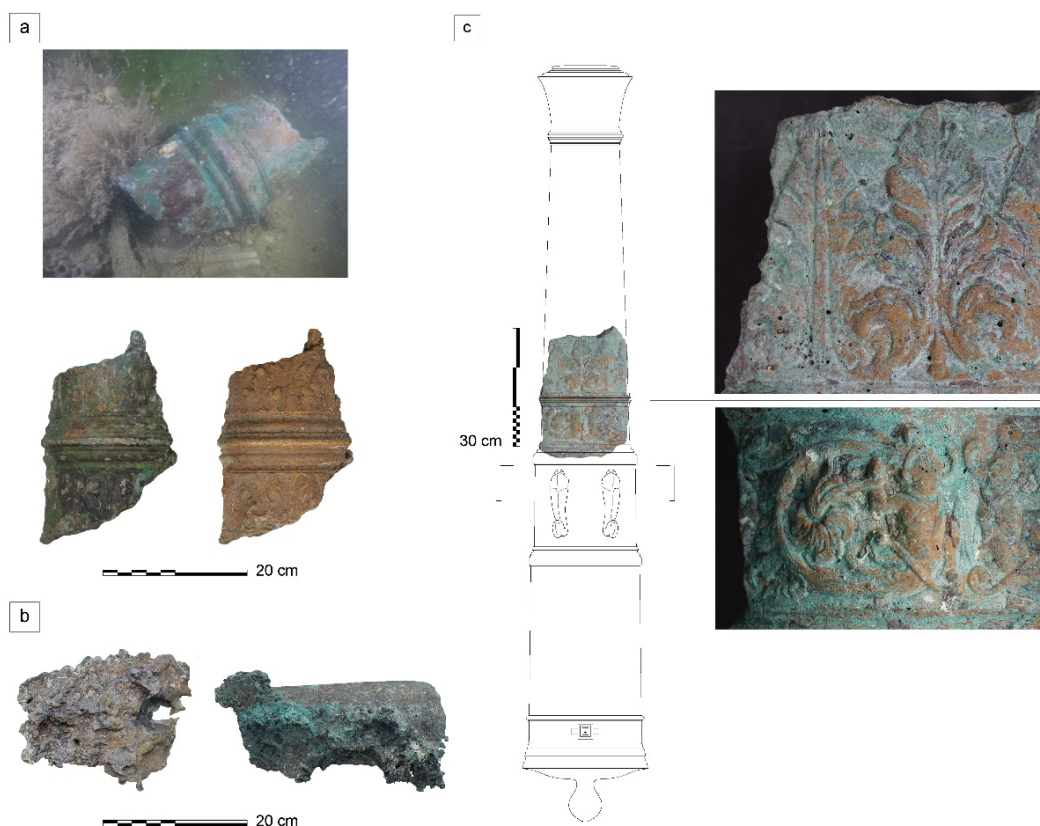


Fig. 3. Restos de cañones de bronce recuperados del pecio Delta I: a) imágenes de un fragmento in situ y una vez extraído, previo y posterior a su conservación; b. subproductos de fundición, amorfos y adheridos a partes del cuerpo de las piezas; y c) trozo de cañón, decorado con hojas de acanto y motivos figurativos (extraído de Ciarlo et al., 2023: fig. 1).

5. Palabras de cierre

El patrimonio cultural sumergido debe ser protegido y estudiado, a través de estrategias y acciones en línea con los principios de la Convención de la UNESCO (2001) y dando preferencia a la preservación *in situ*. Una forma de contribuir con lo anterior, además de las medidas de salvaguarda necesarias, es a través de su diagnóstico y caracterización. La información derivada de la investigación de los restos de pecios y otros sitios arqueológicos que se encuentran en contextos sumergidos ha contribuido no solamente a comprender nuestro pasado y arrojar luz sobre aspectos poco conocidos, además, resulta fundamental para definir y aplicar mecanismos adecuados de puesta en valor dentro de las comunidades. En la actualidad, existen numerosos recursos que permiten potenciar esta línea de trabajo. Dentro del LEC-PH de la UCA, se ha promovido un espacio que nuclea a especialistas de la arqueología y otros campos del conocimiento, en colaboración con centros de gestión e investigación del patrimonio. Allí, con base en una perspectiva interdisciplinar e intersectorial, desde su creación se han desarrollado y aplicado diferentes herramientas para el estudio y protección de diferentes sitios, con énfasis en los metales asociados a restos de naufragios.

Referencias

- ARQUEOMONITOR (2010): Estudio de las condiciones físicas, químicas y biológicas en el deterioro y salvaguarda del patrimonio cultural subacuático, Ministerio de Economía y Competitividad, Proyecto CTM2010-16363.
- Bethencourt, M., Fernández-Montblanc, T., Izquierdo, A., González-Duarte, M.M., Muñoz-Mas, C. (2018): Study of the influence of physical, chemical and biological conditions that influence the deterioration and protection of Underwater Cultural Heritage. *Science of the Total Environment*, 613–614, 98–114. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.007>

- Bethencourt, M., Botana, F.J., Marcos, M. (2005): Sistema combinado para el registro y la conservación arqueológica subacuática in situ. Patente: 2-221-525, España. Registro: 24/05/2002. Publicada: 08/09/2005.
- Ciarlo, N.C., Martí Solano, J., Bethencourt, M., Fernández Tudela, E., Toboso Suárez, E.J., González Gallero, R. y Zuccolotto Villalobos, A. (2023): New remarks on the mid-17th-century gun founding in Northern Europe: archaeometric analysis of scrap bronze ordnance recovered from a Dutch merchant vessel lost off Cadiz, Spain. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 15, 136. <https://doi.org/10.1007/s12520-023-01835-z>
- Gil, M.L.A., Santos, A., Bethencourt, M., García, T., Fernández-Bastero, S., Velo, A., Gago-Dupor, L. (2003): Use of X-ray and other techniques to analyse the phase transformation induced in archaeological cast iron after its stabilisation by the electrolytic method. *Analytica Chimica Acta*, 494, 245–254. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2003.08.012>
- Gregory, D. (1995): Experiments into the deterioration characteristics of materials on the Duart Point wreck site: an interim report. *Int. J. Naut. Archaeol.* 24 (1), 61–65. <https://doi.org/10.1111/j.1095-9270.1995.tb00712.x>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization – UNESCO (2001): Convención sobre la Protección del Patrimonio Cultural Subacuático. París. <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001246/124687s.pdf#page=59>, acceso 20 de septiembre de 2024.
- MacLeod, I.D. (1995): In situ corrosion studies on the Duart Point wreck. *Int. J. Naut. Archaeol.* 24, 53–59. <https://doi.org/10.1111/j.1095-9270.1995.tb00711.x>
- MacLeod, I.D. (2002): In situ corrosion measurements and management of shipwreck sites. In: Ruppé, C.V., Barstad, J.F. (Eds.), *International Handbook of Underwater Archaeology*. Kluwer Academic/Plenum, New York, pp. 697–714. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0535-8_41
- Sánchez Pedreño, I., Salas I., García Amado, J.F., García Trigo, S., Bethencourt, M. (2022): Tratamiento de conservación a gran escala de piezas de artillería pesada de hierro fundido y procedencia subacuática. *Procedimientos metodológicos. Ge-conservación*, 21, 16–28. <https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.970>