Actas de la Reunión Internacional de Expertos sobre la extracción y conservación del pecio *Mazarrón 2*

Proceedings of the International Experts' Meeting on the extraction and conservation of the wreck *Mazarrón 2*

Ministerio de Cultura

Actas de la Reunión Internacional de Expertos sobre la extracción y conservación del pecio *Mazarrón 2*

Proceedings of the International Experts' Meeting on the extraction and conservation of the wreck *Mazarrón 2*

Coordinadoras:
Marta Arcos García
Rocío Castillo Belinchón
Celia Cantero Escribano

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CULTURA

Catálogo de publicaciones del Ministerio: www.libreria.culturaydeporte.gob.es
Catálogo general de publicaciones oficiales: https://cpage.mpr.gob.es

Edición 2023



MINISTERIO DE CULTURA

Edita:
© SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA
Subdirección General
de Atención al Ciudadano,
Documentación y Publicaciones

© De los textos e imágenes: sus autores

NIPO (línea): 822-23-136-4

Maquetación: treceocho edición, S. L.

Publicación incluida en el Programa editorial del Ministerio de Cultura y Deporte de 2023 y editada por el Ministerio de Cultura de acuerdo con la reestructuración ministerial establecida por Real Decreto 829/2023, de 20 de noviembre.

Entre los días 5 y 7 de mayo de 2022 el Ministerio de Cultura organizó, conjuntamente con la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (CARM), la Reunión Internacional de Expertos sobre la extracción y conservación del pecio *Mazarrón 2*. La reunión, bajo la premisa de promover la salvaguarda y puesta en valor del patrimonio subacuático, consiguió congregar a casi cuarenta especialistas multidisciplinares en el ámbito de la arqueología subacuática para analizar, debatir y reflexionar en torno a la situación del *Mazarrón 2*.

Se trata de un pecio de época fenicia de 8,15 x 2,20 m que se hundió en algún momento del siglo VII a. C. frente a las costas de la cercana localidad de Mazarrón, cuyo nombre recibe como homenaje, y que quedó custodiado por sus aguas durante más de dos milenios, hasta ser descubierto en 1994. Su excepcional estado de conservación, único en el mundo, aportó datos fundamentales para conocer la construcción naval en época fenicia, la vida a bordo o las relaciones comerciales con la península ibérica. Constituye, por tanto, uno de los hallazgos arqueológicos subacuáticos más destacados de la Antigüedad, al conservar prácticamente intacta su estructura y parte de su carga. Este hecho motivó que fuera declarado Bien de Interés Cultural, en la categoría de Zona Arqueológica, por Decreto 45/2015, de 27 de marzo, del Consejo de Gobierno de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

No obstante, el pecio también se ha convertido, de forma involuntaria, en un ejemplo de cómo el impacto del ser humano puede afectar intensamente a los ecosistemas que durante tantos siglos albergaron y protegieron los restos arqueológicos, en procesos de auténtica simbiosis. No en vano, uno de los objetivos que motivó la reunión fue dar solución a un problema de conservación originado en tiempos en los que la protección del medioambiente todavía no se contemplaba. Por ello, no debemos perder la oportunidad de poner de manifiesto en estas actas el papel que la lucha contra el cambio climático y la preservación medioambiental deben jugar en contextos arqueológicos.

Otros problemas de conservación del *Mazarrón 2,* sin embargo, han sido descubiertos recientemente, gracias a la constante monitorización de su estado por parte de los técnicos de la CARM, apoyados por los del Museo Nacional de Arqueología Subacuática (ARQVA). En este caso, las dificultades vinieron ocasionadas por la degradación de la estructura de protección *in situ* del pecio, conocida como caja fuerte, que desde 1999 lo custodia y salvaguarda. Por esta razón, desde el año 2019, los diferentes informes técnicos han recomendado su extracción como única

alternativa para su preservación a las generaciones futuras. Atendiendo a estas recomendaciones, en marzo de 2021, el Ministerio de Cultura y la CARM acordaron la extracción del *Mazarrón 2* y su posterior tratamiento en ARQVAtec.

Ante esta necesidad, y con el objetivo de plantear un proyecto de intervención integral, viable, sensato y acorde con requisitos metodológicos, éticos y deontológicos de la Unesco y el ICOM, se organizó la Reunión Internacional de Expertos en torno al *Mazarrón 2,* cuyas actas se presentan en esta publicación. Para ello, se tuvieron en cuenta diversos casos de éxito que en los últimos años se han llevado a cabo en varias partes del mundo, como los del *Ma'agan Mikhael* (Israel), *Jules Verne 7* y *9* (Francia), *Oberstimm 1* y *2* (Alemania), Yenikappi (Turquía), o los casos españoles de *Mazarrón 1, Les Sorres X* o el pecio de *Urbieta*. Soluciones distintas ante retos diferentes que dieron lugar durante la reunión a intensos debates en torno a su mejor adecuación al caso del *Mazarrón 2.*

En este sentido, no puedo dejar de agradecer a todos los ponentes su implicación en el proyecto. También la encomiable labor realizada por los técnicos de la Subdirección General de Gestión y Coordinación de los Bienes Culturales y de ARQVA, encargados de la coordinación de la reunión, y muy especialmente a don Rafael Sabio, que pocas semanas antes de su celebración había sido nombrado director y asumió el reto de su coorganización.

Y es que, simbólicamente, la reunión tuvo lugar en ARQVA, última inclusión española en el registro de buenas prácticas de la Convención Unesco del año 2001 para la Protección del Patrimonio Cultural Subacuático. ARQVA es precisamente el museo que conserva los restos recuperados de la fragata *Nuestra Señora de las Mercedes,* cuyo proceso de recuperación legal y científico fue igualmente reconocido como buena práctica en la Convención de 2001. En este sentido, debo agradecer el constante apoyo y atención mostrado por la Unesco en este tema, materializado en la presencia de don Xing Qu, director general adjunto, en la inauguración de la reunión.

La Reunión Internacional de Expertos ha sido, sin duda, una oportunidad excepcional para profundizar en el conocimiento de la arqueología náutica y los procesos de conservación y restauración de maderas anegadas, al tiempo que sus conclusiones servirán de base para los trabajos que permitan la recuperación del pecio *Mazarrón 2.*

Hasta entonces, *Mazarrón 2* ya es, por encima de todo, un ejemplo y reflejo del compromiso que la Administración pública en España adquiere con la protección, conservación y puesta en valor de nuestro patrimonio subacuático, y que se manifiesta en los fructíferos esfuerzos de una continua y desinteresada cooperación entre el Gobierno de España y la Región de Murcia, cuyos éxitos en este ámbito se demuestran, por citar solo un ejemplo, en la reciente creación de la carta arqueológica subacuática de la Región, una de las más completas de España, al amparo del proyecto CartaSub 2018.

Pero no podemos olvidar que el pecio *Mazarrón 2* es solo un caso del rico y abundante patrimonio cultural subacuático de España, reconocida como una de las principales potencias a nivel mundial en la materia. De hecho, nuestros esfuerzos por mostrarnos como un país de referencia en el ámbito de la conservación, la protección y la difusión han sido reconocidos por la Unesco, y en la actualidad somos el Estado con más proyectos incluidos en el Registro de Buenas Prácticas de la Convención de 2001 que quizás, en un futuro, se vea enriquecida con la incorporación del proyecto en torno al *Mazarrón 2.*

Isaac Sastre de Diego
Director general de Patrimonio
Cultural y Bellas Artes

El yacimiento subacuático de La Playa de la Isla (Mazarrón) constituye uno de los principales yacimientos arqueológicos submarinos de España, habiendo sido la Administración Regional de Murcia quien procedió a su declaración como Bien de Interés Cultural (BIC) con categoría de «Zona Arqueológica» en 2015. En este contexto arqueológico se localizan dos pecios. El Barco *Mazarrón 1*, del que se conservaba un fragmento, fue excavado por el Museo Nacional de Arqueología Marítima y trasladado al actual ARQVA como depósito de la Administración Regional en la primavera de 1995. Durante el mismo proyecto «Nave Fenicia» y en 1994 se localizó el Barco *Mazarrón 2*. Se trata de un pecio en aquel momento en un excelente estado de conservación, y que transportaba como cargamento 2.800 kg de mineral de plomo litargirio, en lingotes circulares, y que fue excavado íntegramente bajo la dirección de Iván Negueruela entre 1999 y 2001.

Truncadas las expectativas de extracción ante la ausencia de un proyecto ejecutable, como método de protección del pecio frente al expolio y a la acción del mar se instaló, en el año 2000, un cerramiento completo metálico denominado coloquialmente «caja fuerte». Con el paso del tiempo se evidenciaron dos cosas: que la estructura de protección del barco estaba sometida a procesos muy graves que le afectaban y mermaban su funcionalidad de forma progresiva; y que el barco no se encontraba en una situación estable sino que era víctima de unos procesos de deterioro que si en esos momentos podían atemperarse parcialmente por efecto de la caja de protección, antes o después podrían verse acentuados por la presión de esta.

En noviembre de 2013 el Ayuntamiento de Mazarrón, la Universidad de Murcia y la Universidad Autónoma de Madrid, promovieron y llevaron a cabo la celebración del Congreso Internacional Barco Fenicio de Mazarrón, cuyas actas fueron publicadas posteriormente. A partir de las recomendaciones del Congreso el Ayuntamiento de Mazarrón impulsó la creación de una Comisión Asesora de Seguimiento de Actuaciones sobre los Barcos de Mazarrón. La Comisión fue constituida el 21 de noviembre de 2014 y desde dicha fecha trabajó a través de la realización de varias mesas de trabajo y un contacto fluido por vía digital. En estas mesas de trabajo participaron tanto las administraciones municipal y autonómica como la estatal, con presencia tanto del Ministerio de Cultura como de la Demarcación de Costas en Murcia. En dicha comisión se integraron especialistas reconocidos a nivel nacional e internacional, contando incluso con la participación de Xavier Nieto, Manuel Martín Bueno, Juan Blánquez o Patrice Pomey.

A propuesta de la Comisión se solicitó de la Administración Regional el abordar la ejecución de algunas tareas previas, imprescindibles, de estudio y prospección del conjunto del yacimiento. En este marco se ejecutó una campaña de prospecciones geofísicas (2017) y prospección con sondeos arqueológicos (2018). Asímismo, la administración regional financió una campaña de diagnosis en el verano de 2019 en que se adoptaron algunas primeras medidas de estabilización.

Su resultado fue expuesto a la Comisión del Barco Fenicio y a la Comisión del Plan Nacional de Arqueología Subacuática del Ministerio de Cultura y Deporte y se mantuvo una reunión de la Dirección General de Bienes Culturales de la Región de Murcia con la Dirección General de Bellas Artes del Ministerio. Como conclusión de estas reuniones se valoró que los trabajos realizados en agosto de 2019 habían posibilitado ganar tiempo hasta la definitiva intervención sobre el pecio y abordar esta, no como una intervención de urgencia, sino como un proyecto maduro y consensuado.

El aplazamiento de la recuperación del barco, propuesto por a la Comisión del Plan Nacional de Arqueología Subacuática del Ministerio de Cultura, y acordado en la reunión de la Dirección General de Bienes Culturales de la Región de Murcia con la Dirección General de Bellas Artes del Ministerio, concluía entre otros aspectos la necesidad de abordar una actuación de estabilización del cerramiento de protección de mayor calado y que garantizase la conservación provisional de la estructura de protección y del propio barco, mediante la redacción de unas propuestas de intervención que se ejecutaron en 2020, y de seguimiento y monitorización que se vienen llevando a cabo desde entonces. Actuaciones, todas ellas ejecutadas por la Dirección General de Patrimonio Cultural de la Región de Murcia.

Ya en mayo de 2022 el Ministerio de Cultura y Deporte y la Administración Regional organizaron en ARQVA unas Jornadas de trabajo internacionales con presencia de destacados especialistas y representantes de Unesco e ICOM cuyas Actas hoy salen a la luz en este volumen. De esta reunión salió la posición unánime de la necesidad de extracción del pecio, y unas directrices sobre cómo abordarlo, así como sobre la necesidad de ejecutar como primer paso un proyecto de actuaciones previas de documentación del estado de la embarcación, del posible sustrato que le sirve de apoyo, y de toma de muestras, actuación que ya hemos ejecutado en el verano de 2023.

Desde la Dirección General de Patrimonio Cultural de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia y desde estas líneas queremos mostrar nuestro agradecimiento a cuantos, durante años, nos han apoyado y ayudado en este camino y reiterar el firme compromiso de esta administración con la preservación, la conservación y la investigación del pecio *Mazarrón 2* como un proyecto modélico, felicitándonos de la plena colaboración con las administraciones implicadas y las instituciones científicas e internacionales que ha guiado el proceso y de las cuales, las actas de esta reunión internacional son un buen ejemplo.

José Francisco Lajara
Director General de Patrimonio Cultural
Consejería de Turismo, Cultura, Juventud y Deportes

Región de Murcia

Expertizaje en aras a un proyecto universal: la recuperación del pecio *Mazarrón 2*

María Agúndez Lería
Subdirectora general de Gestión y Coordinación de los Bienes Culturales

En el año 2009, España ratificaba la Convención de la Unesco para la protección del patrimonio cultural subacuático. Firmada en París en el año 2001, la Convención se ha convertido desde entonces en la principal herramienta para la protección, conservación y puesta en valor de este patrimonio único y singular.

Esa misma Convención conmina a los Estados parte, en su artículo 2, a su preservación *in situ* considerándose la "[…] opción prioritaria antes de autorizar o emprender actividades dirigidas a ese patrimonio". Mientras, reserva la opción de su extracción como una excepcionalidad por cuestiones de conservación y seguridad.

Es precisamente «excepcional» el calificativo con el que de forma recurrente se define al pecio *Mazarrón 2* y todas las circunstancias que hasta la actualidad lo han rodeado.

Resulta excepcional, sin duda, que hoy, casi tres mil años después de su hundimiento, haya llegado a nuestros días esta pequeña embarcación de época fenicia, que desde entonces es custodiada por las aguas de la costa de Murcia. Es sin duda también excepcional, la valiosa información que este pecio ha proporcionado sobre las relaciones comerciales en la península ibérica o la navegación en el Mediterráneo en pleno siglo VII antes de nuestra era. Y excepcionales han sido también las investigaciones, soluciones y procedimientos implementados desde su descubrimiento a finales del siglo XX para su adecuada protección y puesta en valor.

Extraordinarios son, indudablemente, los retos a los que se enfrenta hoy este pecio, ante la necesidad inminente de extraerlo para procurar su conservación y legado a las generaciones futuras, como consecuencia de una degradación paulatina del contexto medioambiental que lo rodea.

Como no podía ser de otra forma, también están siendo excepcionales las medidas puestas en marcha desde el Ministerio de Cultura y la Región de Murcia en torno al necesario proyecto de extracción y conservación de este pecio. Es en este marco en el que se inserta la celebración en mayo de 2022 de la Reunión Internacional de Expertos en torno al *Mazarrón 2*, con el objetivo de obtener una visión integral, basada en proyectos de éxito, de las posibles soluciones y estrategias a implantar en este caso.

Por ello, quisiera agradecer su participación a todos los especialistas que acudieron a Cartagena, física o virtualmente, para aportar su experiencia en los distintos campos que comprende la preparación de un proyecto de extracción, conservación y exposición de un pecio de madera anegada. Asimismo, también me gustaría agradecer el trabajo desarrollado por los técnicos de la Subdirección General de Gestión y Coordinación de los Bienes Culturales, que se encargaron de organizar y coordinar esta Reunión, única y también excepcional, por la capacidad de reunir en un mismo espacio a los especialistas más reconocidos en este ámbito tan concreto y particular de nuestro patrimonio.

Ciertamente, este encuentro supone la primera piedra en un proyecto español de recuperación y puesta en valor de patrimonio subacuático, pero que, por su excepcionalidad, lo convierte, sin duda, en universal.

Mazarrón 2: La Reunión Internacional de Expertos como derrotero para un dilema museístico

Mercedes Roldán Sánchez
Subdirectora general de Museos Estatales

Rafael Sabio González
Director del Museo Nacional de Arqueología Subacuática (ARQVA)

Apenas transcurrido algo más de un año de la celebración de la Reunión Internacional de Expertos sobre la extracción y conservación del barco *Mazarrón 2,* en mayo de 2022, ha podido ultimarse la elaboración de las actas en las que se publican los resultados de las mismas. Su importancia es fundamental, ya que constituyen todo un referente, a nivel tanto nacional como internacional, sobre una cuestión de extrema delicadeza, como lo es la extracción y tratamiento de una embarcación sumergida en un medio acuático. La Reunión Internacional de Expertos fue uno de los primeros eventos institucionales acaecidos tras la incorporación de Rafael Sabio González a la dirección del Museo Nacional de Arqueología Subacuática (en adelante ARQVA). Sin embargo, el rodaje del encuentro hundía sus raíces en el tiempo, habiendo sido un acto en cuya compleja organización se habían visto fuertemente implicados tanto la Subdirección General de Gestión y Coordinación de Bienes Culturales como la Subdirección General de Museos Estatales y, dependiente de esta última, el equipo técnico de ARQVA, con Soledad Pérez Mateo como directora en funciones al frente.

El encuentro aunó a expertos de diversas nacionalidades sobre el tema y, siguiendo este referente, las presentes actas han podido recuperar gran parte de sus aportaciones, trasladándolas a un ambicioso volumen en el que estas podrán aunarse para ofrecer su particular perspectiva sobre cada uno de los aspectos tratados, pero también para determinar el mejor modo de actuar ante el caso específico del barco *Mazarrón 2.*

El pecio en cuestión, descubierto en la playa de Mazarrón en 1994, constituyó un sorpresivo hallazgo. Éste presentaba claramente unas características y, al parecer, una cronología muy similares a las del *Mazarrón 1.* Sin embargo, desde el primer momento pudo comprobarse que su estado de conservación era mucho más óptimo, lo cual constituía un arma de doble filo, pues al interés científico se oponía el problema del tratamiento que debía ofrecérsele para su salvaguarda futura. Una vez ultimada la intervención arqueológica del pecio, la solución adoptada desde la dirección del por entonces Museo Nacional de Arqueología Marítima fue la de elaborar sobre los restos de la embarcación un gran sarcófago metálico que custodiaría tanto su estructura como algunos elementos asociados al barco. Entre estos últimos debe hacerse una especial mención a la valiosa ancla situada junto a la misma, uno de los más tempranos ejemplares documentados que presentan el ensayo de la estructura mixta de madera y metal, posteriormente implementada durante siglos en el Mediterráneo.

Una de las principales conclusiones alcanzadas durante el encuentro y reflejadas en las presentes actas es la de la necesaria extracción del pecio. Su descubrimiento mismo estuvo en su momento motivado por un drástico cambio de la dinámica del litoral. La caja protectora ha realizado su función durante casi tres décadas, habiendo sido reforzada durante los trabajos de documentación acometidos en 2008, con lo que ha podido prolongarse su vida útil. No obstante, su estado actual no hace aconsejable su mantenimiento y las frecuentes DANA, producto del cambio climático, obligan a la adopción de una drástica solución, que pasa por la inexcusable pero más que justificada disociación del barco y su lugar de hallazgo.

Otra de las conclusiones emanadas de la reunión era la de la adopción de una estrategia coordinada, así como la realización de unos estudios previos para planificar la solución a seguir en la extracción del pecio. A tal efecto, en junio de 2023 y por medio de la acción conjunta de la Comunidad Autónoma Región de Murcia y el Ministerio de Cultura y Deporte, con el apoyo de la labor de técnicos de ARQVA, del Museo de Cádiz, de la Universidad Politécnica de Valencia y del CSIC, dichos estudios previos fueron desarrollados exitosamente. Tras la apertura de la caja, que no se producía desde 2008, no solo pudo comprobarse el estado de conservación del barco, sino que también fue documentado meticulosamente, así como sometido a una concienzuda toma de muestras.

Entre los métodos de extracción presentados a través de los numerosos ejemplos recogidos en la Reunión Internacional de Expertos, se polarizaban las opciones entre la extracción en bloque y la fragmentación. La primera, aunque pueda resultar la más óptima desde un nivel teórico, también es la que resulta más compleja y costosa, tanto en el momento de la extracción en sí como en aras del tratamiento ulterior. Con todo, uno de los datos que ofrecerían los estudios previos era el mapeado de las grietas presentes en el casco de la embarcación, a través de las cuales, en su caso, podría plantearse una extracción fragmentada basada en las porciones existentes accidentalmente por el paso del tiempo. De resultar viable, constituiría una óptima alternativa, sin duda.

Una vez extraído, comienza el derrotero propiamente museístico del barco, en tanto en cuanto está previsto su ingreso en ARQVAtec, con vistas a su tratamiento. De haberse logrado obtener en la extracción porciones lo suficientemente adecuadas, estas podrían ser sometidas a un tratamiento de liofilización, que siempre resultará lo idóneo para garantizar la total eliminación de la humedad de las maderas, y así garantizar su conservación a largo plazo. Tal fue el método seguido con el barco *Mazarrón 1,* que, treinta años después, continúa estable en la vitrina en la que es exhibido desde 2008, integrado en la exposición permanente de ARQVA.

El tratamiento del barco *Mazarrón 2* será largo, inexcusablemente plurianual. Una vez concluido, será cuando haya de alcanzarse el siguiente destino en el derrotero del dilema museístico: el de la musealización del barco. A efectos legales, el barco y su cargamento son actualmente titularidad de la Comunidad Autónoma Región de Murcia, de modo que, de ingresar en ARQVA como fondo estable, lo deberían hacer, en principio, bajo la figura de depósito. De optarse por ello y desde un plano más netamente museístico, ha de advertirse, por una parte, que parte del cargamento ya se encuentra expuesto en las vitrinas de la sala 2 de ARQVA, al tiempo que una réplica a escala del pecio sirve para ilustrar, en la sala 1, los pormenores de la investigación y la conservación de un vestigio de esta índole. Ahora bien, si se optase por exhibir el barco original en las instalaciones de ARQVA, deben barajarse nuevas opciones que, sin duda, comportan una intensa reformulación del programa museográfico.

Desde este punto de vista, son varias las opciones que, pese a la distancia, pueden formularse. Ya en su momento, la instalación de la réplica en las salas estaba planteada como un sucedáneo de aquello que, en un hipotético futuro, habría de ocupar su lugar, que es el barco original. Paralelamente, Xavier Nieto, en las conclusiones a la Reunión Internacional de Expertos, sugirió el empleo del actual almacén 2 como posible sala anexa a la 1, donde, tras el debido

acondicionamiento, podrían exhibirse los restos del *Mazarrón 2*. Examinando los límites teóricos de ARQVA, tampoco queremos desechar aquí una solución aún más ambiciosa, y que pasaría por ampliar el edificio en un punto situado al final de la actual sala 1, creándose un nuevo espacio específicamente destinado al pecio que, acompañado por su cargamento, y aún incluso por los restos del *Mazarrón 1,* generarían un área monográfica, plenamente integrada en el discurso temático que se inicia en este punto del recorrido del museo.

Todo lo expuesto no deja de constituir una formulación teórica generada desde la distancia, la cual deberá resolverse en su debido momento. Nuestra única preocupación en el presente es priorizar el seguimiento de un pausado plan en el que los intereses técnicos y científicos se impongan a cualquier otro, para garantizar sobre todo la conservación a medio y largo plazo del barco, así como para favorecer su disfrute público. En este sentido, la publicación de las presentes actas constituye un paso más en el valeroso plan por el que, más de 2500 años después de su naufragio, el barco de *Mazarrón 2* pueda llegar finalmente a fondear en puerto seguro.

Índice

MAZARRÓN 2

El pecio de *Mazarrón 2* (Murcia) y la arquitectura naval venida del Levante 15
Carlos de Juan Fuertes

Una historiografía del pecio *Mazarrón 2* 29
Rocío Castillo Belinchón, Soledad Pérez Mateo y Milagros Buendía Ortuño

El entorno de la Playa de la Isla de Mazarrón, problemática de la dinámica litoral 100
José Manuel de la Peña Olivas

ARQVAtec, el laboratorio de conservación y restauración del Museo Nacional de Arqueología Subacuática 111
Soledad Pérez Mateo y Milagros Buendía Ortuño

ÉTICA Y DEONTOLOGÍA / ETHICS AND DEONTOLOGY

The *Mazarrón 2* within ICOM's Code of Ethics for Museums with Focus on Conservation 126
Ida Hovmand

Best-practise conservation – planning of the conservation process before raising of a waterlogged wooden wreck 144
Nanna Bjerregaard Pedersen

PROYECTOS INTERNACIONALES / INTERNATIONAL PROJECTS

Examples of extraction of ancient shipwrecks in France, Italy and Croatia 156
Giulia Boetto

The conservation of Jules Verne 7 and Jules Verne 9 boats 166
Henri Bernard-Maugiron

Summary of the presentation hold at the International Meeting of Experts on the extraction and conservation of the ship *Mazzarón 2* at National Museum of Underwater Archaeology Cartagena May 5/6. 2022 175
Markus Wittköpper

The Removal Methodology of Shipwreck Timbers from the Field to the Conservation Laboratory: The Case of Yenikapı Shipwrecks 177
Ufuk Kocabaç y Içil Özsait-Kocabaç

PROYECTOS ESPAÑOLES / SPANISH PROJECTS

Moldeo subacuático y extracción del barco *Mazarrón 1* 195
Luis Carlos Zambrano Valdivia

La conservación de los pecios de *Les Sorres X* (Castelldefels), *Barceloneta I* (Barcelona) y *Plaça dels Carros* (Tarragona) 209
Cati Aguer Subirós y Rut Geli Mauri

El pecio de *Urbieta* (Gernika, Bizkaia): Una embarcación a tingladillo del siglo XV en el País Vasco. Análisis del proyecto en el 25 aniversario de su hallazgo 225
Laura García Boullosa

METODOLOGÍAS APLICADAS A LA EXTRACCIÓN DE PECIOS Y OTROS MATERIALES SUBACUÁTICOS / METHODOLOGIES APPLIED TO THE EXTRACTION OF WRECKS AND OTHER UNDERWATER MATERIALS

Moldeo y extracción de materiales frágiles en yacimientos arqueológicos subacuáticos mediante elastómeros de silicona 245
Luís Carlos Zambrano Valdivia

Construcción de la nueva terminal de contendores de Cádiz: pecio *Delta I.* Traslado del pecio .. 257
Milagros Alzaga García, Carmen García Rivera, Antonio Ruiz Vega,
José Manuel Higueras-Milena Castellano y Mercedes Gallardo Abárzuza

METODOLOGÍAS APLICADAS A LA CARACTERIZACIÓN Y CONSERVACIÓN DE PECIOS Y OTROS MATERIALES SUBACUÁTICOS / METHODOLOGIES APPLIED TO THE CHARACTERISATION AND CONSERVATION OF WRECKS AND OTHER UNDERWATER MATERIALS

Analytical techniques and sampling strategies for establishing the state of conservation of underwater archaeological objects 271
María Teresa Doménech Carbó

TRATAMIENTOS DE CONSERVACIÓN DE PECIOS Y OTROS MATERIALES SUBACUÁTICOS / CONSERVATION TREATMENTS ON WRECKS AND OTHER UNDERWATER MATERIALS

A comparative study of conservation methods for waterlogged wood - a review of the 'Cutaway' project 280
Ingrid Stelzner, Jörg Stelzner, Jorge Martinez-Garcia, Damian Gwerder, Markus Wittköpper,
Waldemar Muskalla, Anja Cramer, Guido Heinz, Elias Hamann, Marcus Zuber, Markus Egg,
Philipp Schuetz

Vacuum Freeze-Drying of Waterlogged Archaeological Wood and Selecting the Impregnation Agent Prior to Drying 303
Kristiane Strætkvern

MAZARRÓN 2

El pecio de *Mazarrón 2* (Murcia) y la arquitectura naval venida del Levante

Carlos de Juan
Universitat de València
Institute of Nautical Archaeology
Carlos.Juan@ext.uv.es

Resumen: El entorno submarino en el que se encuentra la pequeña embarcación *Mazarrón 2* es inseguro para la conservación *in situ* del yacimiento. Sin presentar una urgencia inaplazable, pero sin dejarlo en el olvido, las autoridades competentes han puesto en marcha una iniciativa en el medio plazo para estudiar, extraer, conservar, restaurar y exponer el pecio de época fenicia. La necesidad última de hacer llegar a la ciudadanía este excepcional patrimonio con un contenido científico de rigor va íntimamente asociada a la propia investigación arqueológica: fenicios llegados de otros enclaves que se asientan en el sureste peninsular, un saber hacer en construcción de embarcaciones que trajeron del Levante del Mediterráneo y las interacciones y transferencias culturales derivadas de la convivencia con las poblaciones locales. Dentro de este amplio escenario, el pecio de *Mazarrón 2* y comparativamente el pecio 1, pueden ser una contribución arqueológica para la construcción de un discurso histórico sobre la colonización fenicia y las interacciones en la costa.

Palabras clave: Fenicio, arquitectura naval, pecio, indígenas.

Abstract: The underwater environment where the small *Mazarrón 2* boat is located, is unsafe for a *in situ* conservation procedure. Without presenting a maximum urgency, but concerned about its future, the authorities have launched an initiative in the medium term to study, extract, conserve, restore and display the wreck from the Phoenician period. The ultimate need to bring this exceptional heritage to the public with rigorous scientific content, is closely associated with archaeological research itself: Phoenicians who came from other Mediterranean areas to stablish their colonies in the Southeast of the Iberian Peninsula, a know-how in shipbuilding that they brought from Levant of the Mediterranean and the cultural interactions and transfers derived from coexistence with local populations. Within this broad scenario, the *Mazarrón 2* and comparatively the wreck 1, can be an archaeological contribution to the construction of a historical discourse on Phoenician colonization and interactions on the coast.

Keywords: Phoenician, shipbuilding, shipwreck, native populations.

Antecedentes y situación

El yacimiento arqueológico subacuático Playa de la Isla, situado frente al término municipal de Mazarrón (Murcia-España), fue localizado en el año 1988 (Negueruela, 1995, 2000a, 2000b, 2000c, 2004; Negueruela *et al.,* 1995, 2000). Durante aquellos trabajos se documentó material cerámico en

el nivel superficial del fondo marino de adscripción cultural fenicia, fruto de una lenta retirada de las arenas que se estaba produciendo en el enclave desde los primeros vertidos en la costa de desechos de la actividad minera (El Gachero). Esta erosión submarina se aceleró enormemente con la construcción del puerto deportivo situado un poco más al sur en la década de los años setenta del pasado siglo. En 1989 se localizó una estructura en madera perteneciente a un pecio sin que se profundizase en su estudio. En los años 1991 y 1992 se recogieron fragmentos de ánforas R-1, para pasar a ejecutarse el proyecto denominado *Nave Fenicia* entre 1993 y 1995, excavándose el pecio, que acabó denominándose *Mazarrón 1*.

El Barco 1 de Mazarrón fue excavado en la primavera de 1995, se le realizó un molde subacuático con siliconas y que, forrado de fibra de vidrio, fue extraído del agua, tras el volteo del lienzo principal de tracas. Trasladado al ARQVA, forma parte de la colección permanente, tras un largo proceso de conservación y restauración.

Durante el referido proyecto se localizó el *Mazarrón 2* (610-580 a. C.; De Juan, 2017a, p. 70), un pecio en excelente estado, que conservaba prácticamente completa tanto la obra viva como la obra muerta. Fue excavado entre 1999 y 2001, siendo objeto de un trabajo de documentación por el ARQVA en el año 2008 y que ha sido recientemente intervenido de nuevo en 2023, con el objetivo de realizar una diagnosis de su estado de conservación. Se trata de una barca de reducidas dimensiones, que en 2023 tenía 7,53 m de eslora por 2,10 m de manga y 0,6 m de puntal, con la proa completamente abierta, es decir, sin ningún tipo de cubierta o protección. Transportaba como cargamento 2800 kg de plomo litargirio[1], en unos lingotes circulares que se encontraban muy desmenuzados (Negueruela, 2004, pp. 234-235).

En estos momentos, el pecio se encuentra amenazado por el lento proceso erosivo que ha tenido como principal consecuencia la desaparición del sustrato de arena que tenía por encima (más de 1,5 m) y que lo había protegido desde la formación del yacimiento hasta nuestros días. Artificialmente enterrado dentro de la llamada «caja fuerte», estructura metálica que a la vez se hunde sobre el pecio por la ausencia de cimentación en un contexto erosivo, no puede garantizarse su preservación futura *ad eternum* en este contexto inestable.

Las aguas de La Playa de la Isla son tranquilas, muy tranquilas, ciertamente bien protegidas de los temporales más fuertes de estas costas, como pudimos comprobar tras el paso del Gloria (enero de 2020), pero, sorprendentemente, la mala mar del suroeste genera desplazamientos erosivos de las arenas en el enclave. En estos momentos, gracias a la caja fuerte, ya algo amortizada, el pecio se conserva con unas afecciones mínimas, tras su excavación (1999-2001) se le retiró la carga de lingotes de plomo litargirio que mantenía a raya a los xilófagos. En la actualidad, en el caso de la entrada de un temporal del suroeste, como han señalado los trabajos de monitorizacion realizados entre 2017 y 2022 y los modelos de oleaje realizados por el CEDEX, se desconoce cómo podría aguantar la protección de la caja fuerte y el mismo pecio sin sufrir afecciones. El pecio puede estar en riesgo de preservación en el medio/largo plazo.

La Reunión Internacional de Expertos celebrada en el museo ARQVA entre el 5 y el 7 mayo de 2022, con la presencia de los máximos representantes de la Unesco con opinión en la cuestión, sirvió para señalar la referida problemática de conservación futura del pecio en el enclave en el que se encuentra. Es una postura firme que la investigación arqueológica en el *Mazarrón 2* debe de ir asociada a todas las acciones que se desarrollen en pro de la conservación de este pecio. Pensamos que el estudio de detalle de su arquitectura naval puede ser de ayuda para la construcción de un discurso histórico más amplio, donde podremos poner en relación la cultura fenicia de las

[1] Pedanius Dioscorides, botánico de Nerón, llamó litargirio al óxido resultante de someter la galena argentífera al proceso de copelación. De ahí el uso del término en arqueología para referirnos a este tipo de escoria, que podía usarse como plomo sin más o incluso someter la escoria a un proceso secundario de copelación.

gentes venidas del Mediterráneo oriental/central y sus transferencias a las poblaciones indígenas en el sureste de la península ibérica, tomando como fuente la arquitectura naval. Es complementario el reestudio exhaustivo del pecio *Mazarrón 1* para poderlo poner en relación con el *sister ship Mazarrón 2*. Por ahora, del pecio 1 podemos decir que pertenece a la misma firma arquitectural que el 2, puesto que comparten muchos rasgos constructivos principales, pero no la práctica de astillero, puesto que observamos diferencias claras en la construcción y mantenimiento, que nos hablan de dos maestros y escuelas de carpintería de ribera completamente diferentes.

Un rápido proceso postdeposicional

Los pecios estuvieron enterrados bajo la arena, en la misma orilla de la playa, aquella que existió hasta el siglo xx. La orientación del *Mazarrón 1* parece paralela al oleaje, y la del 2, perpendicular a este. Esto nos sugiere que quizás la línea de costa hasta las transformaciones antrópicas del siglo xx pudiera estar a una altura muy parecida a la que existió en la Antigüedad, hubiera o no tómbolo arenoso que uniese la costa con la Isla.

Los naufragios en la orilla de pequeñas embarcaciones son más frecuentes de lo que parece, sobre todo en zonas que normalmente presentan aguas tranquilas y protegidas. Cuando son sorprendidas por un repentino empeoramiento del clima marítimo, el área de refugio se convierte en una trampa insalvable para una embarcación pequeña propulsada a remo o vela, incapaz de soportar el envite del oleaje.

La arqueología subacuática ilustra cómo este escenario es recurrente, con la presencia de pecios en calas y abrigos, por ejemplo, el caso del Binissafuller (Menorca) o los numerosos de cala Culip (Cataluña).

Después, atendiendo al proceso postdeposicional, queremos valorar la cuestión de la velocidad con la que es capaz de enterrarse una embarcación naufragada en el sustrato arenoso, y que es lo que evita que el oleaje crecido por las bajas presiones no deposite la nave literalmente desballestada en la playa. El enterramiento rápido es lo que genera el escenario para la preservación arqueológica. Experiencias en tiempos modernos nos ilustran cómo el proceso de enterramiento de una pequeña embarcación en la arena de la orilla, donde solo hay 1 o 2 m de profundidad batimétrica, puede ser muy rápido, unas pocas horas. En el tiempo que dura el mismo temporal queda sepultada completamente y es esto lo que impide a los tripulantes o locales la recuperación del cargamento y enseres.

Es fácil de entender que el pecio *Mazarrón 2* presentaba prácticamente todo su cargamento intacto en el momento de su excavación: galápagos de plomo, restos de comida de la tripulación, enseres, algo de cabullería aislada, etc., que no fueron recuperados por los propietarios u otros, a pesar de encontrarse en una costa próxima a un asentamiento tipo factoría como era Punta de los Gavilanes. Otros elementos como mástil, aparejo, timones, que pueden sobresalir del sustrato arenoso, no se conservan en absoluto… Para nosotros, la interpretación está en la línea de lo descrito anteriormente, el rápido enterramiento generó este escenario de preservación. Otros pecios costeros naufragados a escasa profundidad presentaron la misma cuestión arqueológica durante su excavación: ¿por qué no recuperaron este cargamento? El aceite del pecio de la Albufereta, el aceite y vino del Ses Fontanelles, pueden ser otros ejemplos parecidos al caso del *Mazarrón 2*; la velocidad con la que se enterraron las naves en la arena de la orilla impidió la recuperación del contenido de la bodega, a pesar de su enorme valor económico.

Una arquitectura naval levantina en el Mediterráneo occidental

Con respecto a una correcta interpretación del pecio 2 de Mazarrón y también del pecio 1, presentamos en el siguiente epígrafe algunas de las reflexiones, pensamos oportunas, de cara a buscar el origen de la tradición de construcción naval de las que ambos pecios son los únicos exponentes conocidos hasta la fecha.

A las costas meridionales de la península ibérica llegaron grupos humanos con una cultura propia y avanzada, con origen en el Levante, en un proceso lento, con una primera fase definida como precolonial (siglos XI-IX), donde hay indicadores teóricos de contactos[2] vía marítima, seguida de una colonial (Aubet, 1997, p. 178), que llevó al asentamiento de gentes de cultura fenicia desde el siglo VIII a. C. en el sur de la península ibérica llegando el proceso migratorio también al sureste, para su explotación comercial, en el siglo VII a. C.

La lógica náutica y de explotación de un territorio desde el mar nos sugiere una relación de convivencia y colaboración con las poblaciones locales, no solo durante los primeros contactos, que no requieren del asentamiento de colonos, como en la fase propiamente colonial, puesto que no implica un conocimiento y control completo de las costas y su *hinterland*. Esto generará una coexistencia y convivencia que por lógica lleva a una cierta hibridación y retroalimentación (Ordóñez, 2014: 10) entre indígenas y fenicios, variada y de diversos grados, generándose así una cultura con matices diferenciadores de la original fenicia (Aranegui y Vives Ferrándiz, 2006). Testigo arqueológico subacuático del escenario colonial fenicio lo representa el fondeadero de La Playa de la Isla de Mazarrón, próximo a la factoría de Punta de los Gavilanes (Ros Sala, 2005), donde naufragaron las dos pequeñas embarcaciones (Figura 1) de construcción regional, a razón de sus capacidades náuticas (Pomey y Rieth, 2005, p. 159; De Juan, 2014; Pomey y Boetto, 2019).



Figura 1. Situación de los pecios de Mazarrón en el fondeadero arqueológico de La Playa de la Isla (Mazarrón, Murcia). Fotografía: De Juan.

Como arquitectura naval del Levante, en estos momentos de la investigación y desde este trabajo nos referimos a una serie de rasgos de construcción naval con origen en un espacio geográfico concreto y en una cronología definida, que podría llegar a ser considerada como «familia

[2] La transmisión de ideas y noticias a lo largo de la cuenca mediterránea, encuentra en los puertos su razón de ser. Enclaves cosmopolitas en los que coinciden barcos con rangos de navegación local, regional y de largo recorrido, con marineros que pueden enrolarse en diversas travesías comerciales. Podemos entender cómo en estos enclaves, con el paso del tiempo, fluyen las noticias y las rutas, siendo las naves de largo de recorrido, las que van de puerto principal a puerto principal, el común denominador entre todas las demás, trayendo y llevando noticias de territorios lejanos.

arquitectónica del Levante» siguiendo la clasificación jerárquica establecida por P. Pomey (Pomey y Rieth, 2005). La cronología la enmarcamos entre el pecio de Uluburun (*ca.* 1300 a. C., Turquía; Pulak, 2002) y Thonis Heracleion 11 (400-325 a. C., Egipto; Robinson, 2018, p. 328). Dentro de este arco cronológico amplio, incluiríamos el pecio de Xlendi (*ca.* 650 a. C., Malta; Gambin, 2011), el pecio de *Mazarrón 1* y el de *Mazarrón 2* (610-580 a. C., Murcia) y, por último, el pecio de Golo (*ca.* s. V a. C., Córcega; Pomey, 2012; De Juan, 2017a). El espacio geográfico originario sería una especie de *koiné* marítima donde, al menos desde la Edad del Bronce, podemos poner arqueológicamente en relación la costa siriopalestina, Egipto, Chipre y la costa mediterránea de Turquía.

El rasgo constructivo fundamental que proponemos de la arquitectura naval con origen en el Levante es la unión entre tablas del casco por medio de unas junturas de carpintería simple, basadas en espigas que, introducidas como conectores en unas mortajas practicadas de manera simétrica en las tablas a unir, se fijan por clavijas perpendiculares (Figura 2). Lejos de querer aquí profundizar sobre su origen, sí podemos señalar que están ampliamente documentadas en la carpintería funeraria egipcia de la XVIII dinastía (1550-1295 a. C.) (De Juan, 2014), así como en el Próximo Oriente, en el Bronce Medio II B (*ca.* 1800/1750-1650 a. C.) (Pulak, 2003, p. 29), siendo la primera evidencia de uso para la construcción naval el pecio cananaeo de Uluburun (*ca.* 1300 a. C., Turquía) (Pulak, 2002).



Figura 2. Ejemplo arqueológico de una juntura entre tablas basada en mortajas y espigas fijadas por clavijas transversales, en el casco del pecio de *Mazarrón 2*. Fotografía: De Juan.

Son muchos los trabajos (Pomey y Rieth, 2005; De Juan, 2014, 2017) que han puesto en relación el sistema de armado a casco primero por medio de la técnica de carpintería de mortajas y espigas fijadas por clavijas (pM&T), documentado en Uluburun como el sustrato tecnológico

previo, que evoluciona en la costa siriopalestina y que heredará la arquitectura naval fenicia. Estos, desde Tiro, Sidón y Biblos, se encargarían de diseminar y transferir la técnica por la cuenca mediterránea, como ilustrarían los pecios 1 y 2 de Mazarrón situados en el occidente. Que Catón el Viejo, *ca.* 200 a. C. (*De Agri*, XVIII, 9), en un momento en el que Cartago es enemiga acérrima de Roma, se refiriera a esta técnica de unión entre tablas como *coagmenta punicana* es revelador respecto a su origen (Sleeswyk, 1980, p. 243).

Hay otros tres rasgos que nos gustaría poner en relación con la arquitectura naval del Levante, al menos entre la Edad del Bronce y la Época Arcaica, y que podrían ser las soluciones de construcción naval a los que nos hemos referido como posibles elementos constitutivos de una familia arquitectural del Levante.

Por una parte, tendríamos el plan de arquitectura del eje axial y las tablas del casco para obtener las formas fusiformes de las embarcaciones, vislumbrado en cierta manera en las ya mencionadas barcas funerarias de Dahchour (De Juan, 2017: 64), bien que en esos ejemplos de embarcaciones sin quilla observamos las simetrías a cada costado de la nave y cómo las juntas de unión entre las tablas que juegan como eje axial, se refuerzan con las tracas de aparadura contiguas. Una ordenación que, evolucionada, según nuestra visión, tiene por ahora su último testigo arqueológico en una pequeña nave ritual de religión egipcia, la Thonis Heracleion 11 (Egipto), que aparte de unos baos en su proa que unen los costados por medio de cola de milano (por ejemplo, como en Dahchour y *Mazarrón 2*) y una quilla segmentada en cinco partes (por ejemplo, como en *Mazarrón 2* y Golo), podemos distinguir que las tablas contiguas a la quilla lo hacen a proa y popa como de sustento de los empalmes de conexión hacia la roda y le codaste (Robinson, 2018, p. 329), con la ayuda de tablas cortas algo poligonales que se denominan en el vocabulario de construcción naval hispana como «atunes», plan de arquitectura casi idéntico al del *Mazarrón 2* (Figura 3).

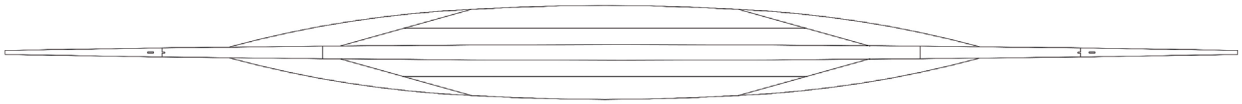


Figura 3. Plan de arquitectura del eje axial del pecio *Mazarrón 2*. Fotografía: De Juan.

Por otra parte, tendríamos los refuerzos transversales basados en baos que actúan como zunchos uniendo los costados de las embarcaciones, en las partes altas, allí donde las deformaciones del casco en la navegación son más acusadas. Estos baos son tablones colocados en horizontal, casi como si de bancadas se tratase y que se intercalan entre las hiladas de tablas del casco gracias a una junta de carpintería llamada cola de milano, que deja un testigo claro de su presencia en el exterior del casco de la nave (Figura 4). La iconografía egipcia las reconoce y las plasma en sus representaciones, como en la nave lapidaria que transporta un obelisco (*ca.* 1450 a. C., Deir el-Bahari), contemporánea con alguna de las naves de la expedición al Reino de Punt de la reina Hatchepsout, o en el caso de las naves egipcias del bajorrelieve situado en los exteriores del templo funerario de

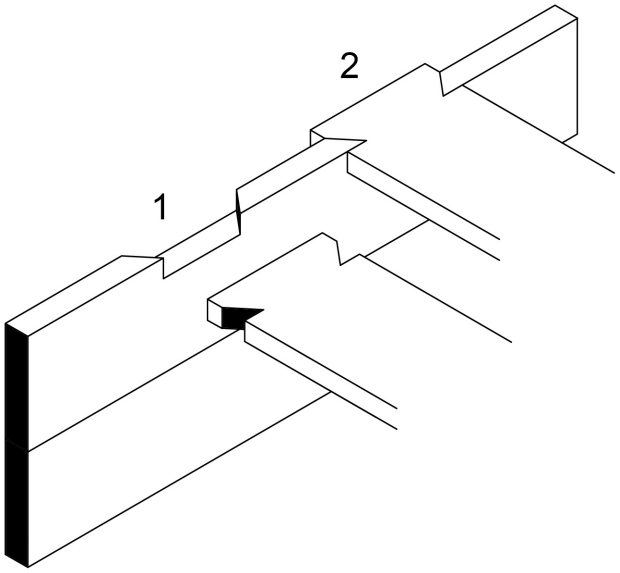


Figura 4. Modelo esquemático de la juntura por cola de milano para unir y arriostrar los costados de la embarcación *Mazarrón 2*. Fotografía: De Juan.

Ramsés III en Medinet Habu, donde se representa la batalla del delta del Nilo entre una armada egipcia y los Pueblos del Mar (*ca.* 1178 a. C) (Casson, 1971, figs. 14 y 61). Queremos remarcar que también este tipo de baos están profusamente representados en las naves cananeas de la pintura de la tumba de Kenamon en Tebas (*ca.* 1400 a. C.) (Basch, 1987, p. 64, fig. 114), coetáneas con el pecio de Uluburun (De Juan, 2017).

Por último, un sistema de gobierno que aparece, en primer lugar, en las embarcaciones menores en el Imperio Medio, testimoniado de nuevo en las barcas funerarias encontradas a los pies de la pirámide de Sesostris III en Dahchour (XII dinastía, *ca.* 1850 a. C.). Se basa en dos timones laterales fijados a popa, a cada lado de la embarcación, a nivel del plano de abordo del casco y donde la extremidad superior se fija a un puntal vertical (Pomey, 2014, p. 7).

Estos cuatro elementos señalados: sistema de armado a casco primero, plan de arquitectura de las tracas del casco, carpintería transversal de refuerzo y sistema de gobierno, pensamos son el fósil director para hablar de una carpintería naval levantina que llegó a la península ibérica, como fundamentalmente ilustraría el pecio 2 de Mazarrón.

No tenemos, por otra parte, información precisa sobre las cuadernas, su patrón de ordenación y su sistema de unión con el casco (De Juan *et al.*, 2010). En la línea taxonómica iniciada arqueológicamente por las barcas funerarias de Dahchour, vemos que en estas pequeñas naves no son requeridas, pero la barca funeraria de Keops (IV dinastía, *ca.* 2600 a. C.), mucho más antigua, sí las tenía (Landström, 1979, fig, 86), por lo que a todas luces este refuerzo de la carpintería era conocido. El pecio cananeo de Uluburun no aporta información alguna al respecto porque en los 1.75 m de casco preservado, coincidente con el eje axial de la nave, no hay vestigio alguno que nos hable de su presencia, bien porque su malla de separación supere los restos conservados o bien porque no existieran a modo de varengas (Pulak, 2002, p. 616). Quizás, como señala Pulak, ello esté en relación con la disposición, tamaño y densidad de las espigas usadas para las uniones entre las tracas, que verdaderamente acababan creando un refuerzo a modo de carpintería transversal no visible.

Los trabajos que está desarrollando T. Gambin con la Universidad de Malta en el pecio fenicio de Xlendi (Gozo, Malta) pensamos que podrán aportar luz a esta cuestión, puesto que seguramente será el primer exponente conservado de la utilización de las cuadernas en la arquitectura naval fenicia, ya en el siglo VII a. C.

Trabajos de campo para la diagnosis de 2023

Decidida la necesidad de extracción del pecio de *Mazarrón 2* por las autoridades competentes, autonómicas y estatales, con su posterior refrendo por la comunidad científica y la Unesco en la Reunión Internacional de Expertos celebrada en mayo de 2022, se hacía necesario contar con información arqueológica actualizada (los últimos datos eran de 2008) del estado de preservación del pecio *Mazarrón 2*, desde sus formas, grado de fragmentación, así como porcentaje de agua que empapa la madera. Por ello, era necesario desenterrar de nuevo el pecio. Era de nuestro interés realizar las oportunas observaciones en su arquitectura naval para poner en relación el pecio con la cultura naval fenicia, la arquitectura naval levantina y las interacciones y transferencias culturales con los indígenas en la costa del sureste de la península ibérica. Queríamos prestar atención a detalles de la arquitectura naval y sus secuencias constructivas para ponerlas en relación tanto con la referida familia arquitectónica levantina como con la posible o no hibridación con las comunidades locales, ya fuera por el aprendizaje de las técnicas constructivas de maestros fenicios, que al ponerlas en práctica los locales iban a presentar su propia «huella dactilar», como también valorar la posibilidad de la segunda vida de una embarcación, es decir, que originariamente había sido construida por maestros de carpintería de ribera fenicios y que habían tenido una segunda propiedad

y mantenimiento por comunidades indígenas, estrechamente colaboradoras de los colonos fenicios, dejando su «huella dactilar» con estos trabajos de mantenimiento.

Abrir y desenterrar el pecio de *Mazarrón 2* es siempre un ejercicio de responsabilidad, puesto que por la escasa profundidad a la que se encuentra, la propia excavación podría ponerlo en gran riesgo en caso de la entrada de un mínimo oleaje. Por ello el equipo de arqueólogos subacuáticos participante debía de ser experto, solvente científicamente, con experiencia de trabajo en equipo y con capacidad de resolver, en el horario que fuera, una situación de emergencia.

Por ello se le propuso a la CARM aprovechar la inercia de un equipo humano con trayectoria en la excavación arqueológica subacuática de arquitectura naval, siendo el que más garantías nos ofrecía el que actualmente desarrolla la excavación del pecio púnico de El Sec (350-330 a. C.; Mallorca; De Juan *et al.*, 2021) para la Universitat de València, con arqueólogos formados por el Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya y el máster oficial de Arqueología Náutica y Subacuática de Cádiz, contándose también con arqueólogos especialistas en imagen de la Universidad de Alicante y una conservadora del Instituto Restauro de Roma.

Los trabajos se desarrollaron entre el 11 y el 26 de junio de 2023 ininterrumpidamente gracias a un convenio de colaboración científica entre la CARM y la Universitat de València. Se iniciaron con el fondeo de una plataforma flotante sobre el pecio donde se instalaban a diario los equipos de suministro de aire y excavación. Originalmente, planteamos la reexcavación y documentación abriendo el pecio de *Mazarrón 2* por sectores, lo que permitiría su cierre rápido enterrándolo con arenas en el caso de que hubiera un mal parte meteorológico. Afortunadamente, justo en el periodo de excavación, gozamos de una ventana de tiempo perfecta, sin vientos, ni oleaje remarcable, por lo que tomamos la decisión de abrir el pecio en su conjunto, lo que siempre redunda en una mejor documentación en todos los aspectos. Se prepararon bolsas rellenas de arena para diariamente, al finalizar la jornada, generar un pequeño estrato protector sobre las maderas del casco. Fueron útiles y cumplieron su cometido a la perfección un día en el que el viento sí trajo un poco de oleaje y también mar de fondo.

Los largueros de la caja fuerte, retirados por seguridad en 2020, fueron de nuevo montados y desplazados perpendicularmente sobre el pecio, para usarlos como soportes para las mangas de succión, las pequeñas maniobras submarinas e incluso para el uso de los mismos arqueólogos, con la idea de evitar al máximo las posibles afecciones sobre el yacimiento.

Los trabajos consistieron en una documentación gráfica exhaustiva y de detalle que ha permitido la generación del modelo tridimensional de gran resolución y en la observación detallada de todos los elementos de la arquitectura naval (Figura 5), que pensamos pueden aportar nuevos datos para el conocimiento e interpretación de la nave. Ello merece un trabajo más amplio y detallado que realizaremos próximamente.

En la investigación se realizaron los mínimos marcajes sobre la madera. Únicamente se colocaron alambres vinilados[3] para diferenciar las juntas entre tracas del casco, ya que una profusa capa de resina, perteneciente al último mantenimiento del barco antes de su hundimiento, las enmascaraba.

Como consecuencia de ello, tuvimos que valorar cómo actuar en la parte de popa del barco, donde nunca se le había retirado la resina de imprimación. Por una parte, nos ha servido para poder situar este dato dentro de la secuencia constructiva del pecio y su último mantenimiento, cuestión nunca valorada en las anteriores intervenciones. Todo nos sugiere que estamos ante una embarcación muy vieja, algo amortizada. Agradecimos que no se hubiera retirado esta capa de

[3] Fueron retirados tras la documentación gráfica.



Figura 5. Durante los trabajos realizados en la campaña de 2023. Fotografía: Moya.

resina sin el conocimiento necesario, pero la referida imprimación se ha convertido en un pequeño hándicap de cara a poder observar las fisuras, grietas y separaciones en esta zona a popa. La decisión de no intervenirla vino motivada por los datos extraídos en la mitad a proa de la embarcación, por lo que hace referencia a las fisuras, grietas y separaciones, podíamos extrapolarlos estadísticamente a la popa.

Situación parecida surgió al valorar la remoción de los tensores artesanales que se colocaron en anteriores excavaciones en el interior del casco de la nave. Desconocedores de cómo podían comportarse las tracas de madera allí donde estaban colocadas, decidimos, por prudencia, no removerlos, entendiendo que, allí donde se colocaron, los excavadores vieron muchas fisuras verticales.

Durante los trabajos de reexcavación en el verano de 2023 se pudo comprobar que había un elemento, posiblemente un cabo, encofrado en resina que no se había retirado de la intervención de 2008 y que dejamos en su emplazamiento. Sí retiramos unos pequeños fragmentos cerámicos adheridos a la resina, próximos a la carlinga de la nave. Pendientes de estudio, señalamos que en ocasiones este tipo de abandonos han podido ser puestos en relación con la construcción y/o mantenimientos de la nave. En la zona de popa pudieron observarse, también adheridas a la resina, numerosas ramitas, restos seguramente de parte del abarrote, ya retirado en la primera excavación del pecio, tomándose una pequeña muestra, por si pudiera aportar información radiocarbónica.

Por otra parte, ARQVA realizó la extracción, con miembros de nuestro equipo, de algunas maderas sin conexión estructural con el pecio, que permitirán su posterior diagnosis. También tomaron muestras de agua y sedimento para su análisis químico, a la vez que se realizó una prueba *in situ* de la metodología de extracción basada en soportes de fibra de carbono que está desarrollando en la actualidad B. Davidde. También el equipo de ARQVA realizó alguna experimentación de pequeño formato con siliconas.

Una vez los trabajos de documentación fueron terminados, se procedió de nuevo a enterrar el pecio con las mismas arenas finas de las terreras, colocándose las tapaderas de la caja fuerte de nuevo en su emplazamiento original, junto con sacos terreros y piedras por encima, para evitar su movimiento en el caso de que entre mala mar. Los programas de monitorización de la «caja fuerte» que desarrolla la CARM permitirán comprobar la evolución en el medio plazo del cerramiento.

El trabajo de gabinete

El principal objetivo marcado en el trabajo de diagnosis fue la elaboración de un mapa de fisuras del pecio que permita de manera colegiada tomar las decisiones sobre cómo ha de realizarse la extracción del pecio *Mazarrón 2*.

El pecio, con las fotografías generales de conjunto, da la impresión de que se encuentra en un estado de conservación excelente, y en cierta manera así es. Pero «conservación excelente» de madera arqueológica no tiene el mismo significado entre especialistas en la materia y los desconocedores de la cuestión. La madera ha perdido la celulosa de sus células y se encuentra completamente empapada en agua, sin estructura interna capaz de aguantar, en muchas ocasiones, su propio peso fuera del agua. Por otra parte, se generan unas fisuras, grietas y separaciones, propias del proceso postdeposicional del yacimiento que dura hasta la actualidad, por el que una simple tabla, aunque dé la impresión visual de que se encuentra de una pieza, en realidad está multifisurada y es un conjunto de muchas unidades. Esto debemos multiplicarlo por todas las tablas y las hiladas de tracas del barco.

Hacemos referencia a esta cuestión porque la imagen de conjunto de la embarcación ha sugerido que el pecio podría extraerse de una pieza. Esto, como no podía ser de otra manera, es técnicamente posible, si bien los costos económicos de este método van a superar enormemente

al de otros. Por otra parte, desconocemos cómo se van a comportar estructuralmente las tracas que, situadas en la zona de los pantoques, van a soportar verticalmente el peso de las hiladas superiores que conforman los costados de la nave. Aprovechar con criterio y deontología las fisuras, grietas, separaciones y juntas de arquitectura que ya presenta el pecio en la actualidad, para la creación de porciones de formato adecuado para su movilización debajo del agua, su extracción en disposición horizontal, transporte y tratamientos, se plantea como la opción más lógica y sensata entre todas. Una extracción en bloque de todo el pecio al unísono, operación arriesgada de cheque en blanco de hasta siete cifras, es contradictoria con las capacidades de los laboratorios de referencia donde actualmente se tratan este tipo de maderas arqueológicas empapadas en agua, ya sea ARQVAtec (Cartagena), Casc (Girona) o Arc Nucleart (Francia). Paradójicamente, antes de iniciarse el tratamiento de este «bloque», se debería proceder a la separación quirúrgica por porciones del barco. No encontramos justificación científica para correr semejantes riesgos. ¿Construir un laboratorio *ad hoc* para tratar el pecio de «una pieza»? Si sacarlo así, en un bloque, requiere de una inversión desorbitada, construir o añadir lo necesario a un laboratorio para tratarlo en bloque requiere de otras inversiones, en medios y personal, por encima de las siete cifras.

Los trabajos de diagnosis que se realizaron en 2019 por la CARM con la apertura de unos sondeos a modo de ventanas, pusieron de manifiesto la profusa existencia de fisuras, grietas y separaciones. De la misma manera, ARQVA puso en común un mapa de fisuras realizado en el año 2000, que plasma el estado fragmentario de la madera del pecio, observable una vez se le retiró el cargamento de plomo litargirio.

Por ello, poniendo en estrecha relación el estado del pecio, que presenta fisuras, grietas, separaciones y juntas de arquitectura, junto con las capacidades de los laboratorios de referencia, la mejor gestión económica, el menor riesgo en las operaciones submarinas y la facilidad del tratamiento/manipulación de las maderas en laboratorio, señalamos que la extracción meticulosa en pequeñas porciones del pecio es la clave para el éxito y viabilidad futura del proyecto. Deontológicamente, no encontramos ninguna fricción a este supuesto por el que se extrae el pecio en porciones de un enclave inestable, para ser conservado, restaurado y musealizado.

Por ello, y a modo de guía para las siguientes fases del trabajo, de cara a poder decidir el tamaño de las referidas porciones, cuántas y cómo salen del agua, se hacía necesaria la realización de una planimetría actualizada del pecio, sobre la que se puedan tomar las decisiones oportunas. Esta se ha realizado mediante la generación de ortofotos de planta y alzados del pecio, sobre los que se realizó un dibujo 2d de tipo interpretativo, en Autocad.

En combinación con este mapa de fisuras 2d, se planteó en el proyecto la obtención de las formas del casco interno de la nave, generándose un modelo 3d, también mediante fotogrametría. Estas formas obtenidas pueden ser fácilmente extrapoladas al casco externo, de manera que se cuenta con la información numérica necesaria que permite anticipar la generación de cuantas camas y soportes sean oportunos para la extracción, almacenaje, transporte y depósito de las maderas en las cubas del laboratorio de Arquatec. Es un registro de gran interés para los fines perseguidos. Este es un aspecto que vendrá desarrollado en su momento, en el proyecto de extracción del pecio.

La observación de algunos elementos de la arquitectura naval

Se aprovechó el trabajo de diagnosis para realizar una serie de observaciones sobre las particularidades de la arquitectura naval del *Mazarrón 2*, para ponerlas en relación con algunos datos ya conocidos del pecio 1, la teórica familia arquitectónica levantina que presentamos en el presente articulo (véase *supra*) y la interacción entre colonos/autóctonos del SE de la península ibérica.

Será necesario un futuro trabajo específico para plasmar todos los datos recogidos de la arquitectura naval del *Mazarrón 2*, por considerarlos novedosos en el discurso interpretativo del pecio, pero a modo de resumen sí podemos señalar algunos de ellos en el presente trabajo.

Por lo que hace referencia al plan de arquitectura del eje axial, como hemos señalado (De Juan, 2014, 2017) está compuesto por un eje axial segmentado en cinco piezas, cuyas uniones se refuerzan por la presencia de una particular configuración de las tracas de aparadura y los refuerzos de dichos atunes, y donde solamente encontramos ejemplo arqueológico preciso en el pecio de Thonis Heracleion 11 (400-325 a. C., Egipto; Robinson, 2018, p. 328).

Una de las cuestiones que reviste gran interés son las posibles reformas que se le han hecho a la embarcación, añadiéndole más hiladas de tracas para aumentar su franco bordo y sus capacidades náuticas en mar abierto. Si las junturas se hubieran realizado mediante la técnica de mortajas y espigas fijadas por clavijas, su rastro arqueológico habría sido complejo de observar. Sin embargo, afortunadamente, estas hiladas se han unido al casco mediante la combinación de mortajas y espigas muy espaciadas entre ellas que no estaban fijadas por clavijas, combinadas con una serie de perforaciones en ambas tablas a unir, para el paso de una cuerdecita que digamos las hilvanaba.

Respecto a las cuadernas, al poder observar el pecio en su conjunto queremos señalar que no son simples ramas colocadas directamente al casco, sino que han sido cuidadosamente elegidas y trabajadas en sus caras de contacto con la nave y que su pequeño formato no atiende más que al módulo que tienen todas las otras tablas y piezas de la embarcación: estamos ante una pequeña barca. La técnica de ligaduras empleada para unir esta carpintería transversal a las tracas es muy sencilla de practicar y desconocemos su origen. Por ahora no las podemos interpretar desde el punto de vista de a qué tradición cultural pertenecen.

Los baos y la juntura a cola de milano refieren claramente a una tradición arquitectural cuyas primeras evidencias sin duda se dieron en el Levante. Su distribución es ordenada y meditada para reforzar la parte de popa donde se sitúan los timones paralelos y la pequeña tripulación, dejando dos zonas claras para la carga tanto a proa como a popa, reforzando a la carlinga y al propio mástil con unos baos específicos. Asunto particular son una serie de perforaciones asociadas a un cosido que se han podido observar desde la cara externa del casco, allí donde los baos se convierten en una pequeña protuberancia, en dos de los baos conservados.

La observación de la parte de popa en la que nunca se había retirado la resina nos permitió ver qué coladas de resina caliente había atravesado las juntas entre varias tracas del casco. Esto nos presenta una fotografía de imprimación de brea por la cara exterior, con la embarcación bocabajo, práctica común y habitual hasta la actualidad. Por ser una embarcación vieja, cuyas tablas en algún momento se habían dejado secar, se había producido una pequeña separación de unos milímetros entre traca y traca, por las que penetró a la cara interna del casco, por gravedad, la brea aplicada desde el exterior.

Este dato tiene interés de cara a la interpretación de la nave, que, al ponerlo en sintonía con la aplicación de cosidos junto con espigas y mortajas para unir tablas, sugiere una dilatada vida de la embarcación.

Conclusiones

Por el tamaño de la embarcación y sus capacidades náuticas, señalamos que los astilleros donde se construyeron los dos pecios de Mazarrón sin duda se encuentran próximos a la zona de hundimiento, en el SE de la península ibérica. Presentan una tecnología constructiva claramente fenicia que procede del Levante y que hacemos propia de una especie de «koiné marítima» donde también incluiríamos Egipto, Chipre y la costa SE de Anatolia. Este *know-how* lo trajeron los colonos. Sin

embargo, la presencia de algunos elementos anómalos en su arquitectura naval permitió a P. Pomey proponer que el *Mazarrón 1* y el *2* pudieran ser los primeros exponentes arqueológicos de una tradición propia que perdurará en la fachada mediterránea de la península ibérica, con una fuerte influencia fenicia. Parece verosímil la transmisión a las comunidades locales, después de unas generaciones de convivencia, de un conocimiento en arquitectura naval que será a su vez reinterpretado por las poblaciones indígenas para construir pequeñas naves.

Los últimos trabajos realizados en 2023 añaden un matiz a esta hipótesis de Pomey, puesto que si bien no hay discusión en la perduración de una línea de construcción naval en el peninsula iberica con una fuerte impronta fenicia, añadimos ahora otro escenario interpretativo con la posibilidad de que las embarcaciones documentadas estuvieran en una «segunda vida» en el momento de su hundimiento. Pequeñas embarcaciones de transporte construidas por carpinteros de ribera fenicios y que pudieron acabar siendo propiedad de comunidades locales, que realizan los mantenimientos periódicos y/o reparaciones de acuerdo a su saber hacer. Podrían también tener aquí interpretación los elementos disonantes o poco conocidos dentro de esa arquitectura naval fenicia.

Bibliografía

Aranegui, C. y Vives-Ferrándiz, J. (2006). Encuentros coloniales, respuestas plurales: los Ibéricos Antiguos de la fachada mediterránea central. En M. C. Belarte y J. Sanmartín (Eds.), *Arqueo Mediterrània 9* (pp. 89-107). Barcelona.

Aubet, M. E. (1997). *Tiro y las colonias fenicias de Occidente*. Barcelona: Crítica.

Basch, L. (1987). *Le Musée imaginaire de la marine antique*. Atenas.

Casson, L. (1971). *Ships and seamanship in the Ancient World*. Princeton.

De Juan, C. (2014). Les épaves de Mazarrón et de Binissafúller. La tradition ibérique d'influence punico-phénicienne. En P. Pomey (Ed.), *Ports et Navires dans l'Antiquité et à l'*époque byzantine (pp. 26-33). Dossiers d'Archéologie 364.

De Juan, C. (2017a). Técnicas de arquitectura naval de la cultura fenicia. *SPAL,* 26, 59-85.

De Juan, C. (2017b). Los pecios de Mazarrón y la familia arquitectónica ibérica. Los ejemplos más antiguos de la arquitectura naval indígena en la Península Ibérica. En M. Martínez Alcalde, J. M. García Cano, J. Blánquez Pérez y Á. Iniesta Sanmartín (Eds.), *Mazarrón II. Contexto arqueológico, viabilidad científica y perspectiva patrimonial del barco B-2 de la bahía de Mazarrón (Murcia). En homenaje a Julio Mas García* (pp. 229-251). Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.

De Juan, C., Aguelo, X., Palomo, A. y Pons, O. (2010). La construcción ´on naval del pecio di Binissafúller (Menorca-Islas Baleares). Análisis de los restos de casco conservados. En P. Pomey (Ed.), *Transferts technologiques en architecture Internationale d'Istanbul, 19-21 mai 2007, 59-73. Varia Anatolica XXX*. Istanbul.

De Juan, C., Díez Castillo, A. y Munar, S. (2021). Renewed excavation at El Sec. *The Ina Quarterly*, 48, 3/4.

Gambin, T. (2011). A Phoenician shipwreck off Gozo, Malta. *Malta Archaeological Review*, 10, 69-71.

Landström, B. (1970). Ships of the Pharaohs. 4000 Years of Egyptian Shipbuilding. London.

Negueruela, I. (1995). *Excavaciones arqueológicas subacu*áticas realizadas por *el Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas en el yacimiento de la Playa de la Isla (Mazarrón). Memoria de la campaña de 1995. (Serie Memorias de Arqueología de la Región de Murcia. 10-1995)* (pp. 162-180). Murcia.

Negueruela, I. (2000a). Protection of shipwrecks. The experience of the Spanish National Maritime Archaeological Museum. *Underwater archaeology and coastal management. Focus on Alexandria (Alexandría, 1997)* (pp. 111-116). Paris.

Negueruela, I. (2000b). Managing the maritime heritage: the National Maritime Archaeological Museum and National Centre for Underwater Research, Cartagena, Spain. *The International Journal of Nautical Archaeology,* 29, 2, 179-198.

Negueruela, I. (2000c). Descubrimiento de dos barcos fenicios. *IV Congreso Internacional de Estudios Fenicios y Púnicos. Cádiz 2-6, octubre 1995. Vol. IV* (pp. 1671-1679). Cádiz.

Negueruela, I. (2004). Hacia la comprensión de la construcción naval fenicia según el barco de "Mazarrón-2" del siglo VII a.C. En Peña, Mederos y Wagner (Eds.), *La navegación fenicia. Tecnología naval y derroteros* (pp. 227-278). Madrid: Centro de Estudios Fenicio Púnicos.

Negueruela, I.; González, R.; Marín, C.; Méndez, A., (2000).Carta arqueológica subacuática de la Región de Murcia. I: Mazarrón. Campaña de 1999. *XI Jornadas de Patrimonio Histórico y Arqueología Regional* (pp. 21-23). Murcia.

Negueruela, I., González, R., San Claudio, M., Méndez, A., Presa, M. y Marín, C. (2004). Mazarrón 2: el barco fenicio del siglo VII a.C. Campaña de noviembre-1999/marzo 2000. *2º Congreso Internacional del mundo púnico (Cartagena, abril de 2000). Estudios Orientales*, 5-6, 453-483.

Negueruela, I., Pinedo, J., Gómez, M., Miñano, A., Arellano, L. y Barba, J. S. (1995). Seventh-century BC Phoenician vessel discovered at Playa de la Isla, Mazarrón, Spain. *The International Journal of Nautical Archaeology*, 24, 3, 189-197.

Ordóñez Fernández, R. (2014). La identidad fenicia occidental: Manifestaciones materiales de una ideología. *Hispania Antiqva,* XXXVII-XXXVIII (2013-2014), 9-23.

Pomey, P. (2012). Le dossier de l'épave du Golo (Mariana, Haute-Corse). Nouvelles considerations sur l'interprétation et l'origine de l'épave. *Archaeonautica,* 17, 11-30.

Pomey, P. (2014). Navires et construction navale dans l´Égypte Ancienne. En B. Argémi y P. Tallet (Eds.), *Entre Nil et mers. La navigation en Égypte ancienne. Actes des rencontres de Provence Égyptologie. Musée Départemental Arles Antique. 12 avril 2014.*

Pomey, P. y Boetto, G. (2019). Ancient Mediterranean Sewn-Boat Traditions. *The International Journal of Nautical Archaeology,* 48, 1, 5-51. doi: 10.1111/1095-9270.12337

Pomey, P. y Rieth, E. (2005). *L'archéologie navale*. Paris.

Pulak, C. (1996). A dendrochronological dating of the Uluburun ship. *INA Q*, 23, 12-1345.

Pulak, C. (1998). The Uluburun Shipwreck: An Overview. *The International Journal of Nautical Archaeology,* 41, 27, 3, 188-224.

Pulak, C. (1999). The Late Bronze Age shipwreck at Uluburun. Aspects of hull construction. En: Phelps, Lolos y Vichos (Eds.), *The Point Iria wreck. Interconnections in the Mediterranean ca. 1200 BC* (pp. 209-238). Atenas.

Pulak, C. (2000). The balance weights from the late bronze age shipwreck at Uluburun. *Metals Make the World Go Round* (pp. 247-266). Oxford.

Pulak, C. (2002). The Uluburun Hull Remains. En H. E. Tzalas (Ed.), *Tropis VII. Proceedings of the 7th International Symposium on Ship Construction in Antiquity (27-31 August, Pylos)* (pp. 615-636). Atenas.

Pulak, C. (2003). Mortise-and-tenon joints of Bronze age seagoing ships. En C. C. Beltrame (Ed.), *Proceedings of Ninth International Sysposium on Boat and Ship Archaeology* (pp. 28-34). Venecia.

Robinson, D. (2018). The Depositional Contexts of the Ships from Thonis-Heracleion, Egypt. *International Journal of Nautical Archaeology*, 47, 325-336. https://doi.org/10.1111/1095-9270.12321

Ros Sala, M. (2005). Metalurgia y sociedad en el sureste prerromano. *Patrimonio minero de la Región de Murcia* (pp. 39-60). Murcia: Bocamina.

Sleeswyk, A. W. (1980). Phoenician joints, coagmenta punicana. *The International Journal of Nautical Archaeology,* 49, 3, 243-244.

Una historiografía del pecio *Mazarrón 2*

Rocío Castillo Belinchón
Arqueóloga, Museo Nacional de Arqueología Subacuática de Cartagena / ARQVA
rocio.castillo@cultura.gob.es

Soledad Pérez Mateo
Conservadora, Museo Nacional de Arqueología Subacuática de Cartagena / ARQVA
soledad.perez.m@cultura.gob.es

Milagros Buendía Ortuño
Conservadora-restauradora, Museo Nacional de Arqueología Subacuática de Cartagena / ARQVA
milagros.buendia@cultura.gob.es

Resumen: La redacción del anteproyecto de extracción y conservación del barco *Mazarrón 2*, ubicado en el yacimiento Playa de la Isla (Mazarrón, Murcia), plantea la necesidad de revisar las actuaciones arqueológicas, de conservación y de investigación llevadas a cabo. Para ello, trazamos un recorrido histórico por la bibliografía generada en torno al pecio y la documentación conservada en el Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática ARQVA. Su historiografía revela numerosos interrogantes, una información en diferentes niveles de interpretación, una dispersión y repetición de datos, sin llegar a resultados concluyentes. Su situación actual y las perspectivas de futuro muestran los retos que debe afrontar un proyecto científico integral de extracción, conservación y exposición. Todo ello nos permitirá dilucidar el estado de la cuestión de una investigación que continúa abierta, así como actualizar los estudios realizados o en proceso, incluyendo los bienes asociados al barco, para ponerlos a disposición del público y del personal investigador.

Palabras clave: *Mazarrón 2*, Museo Nacional de Arqueología Subacuática ARQVA, historiografía, proyecto integral de investigación, pecio.

Abstract: The drafting of the preliminary project for the extraction and conservation of the *Mazarrón 2* wreck, located in the Playa de la Isla site (Mazarrón, Murcia), raises the need to review the archaeological, conservation and research interventions carried out. To do this, we trace a historical review through the bibliography generated around the wreck and the documentation helded in the Archive of the ARQVA National Museum of Underwater Archaeology. Its historiography reveals numerous questions, information at different levels of interpretation, a dispersion and repetition of data, without reaching conclusive results. Its current situation and future prospects show the challenges that a comprehensive scientific project of extraction, conservation and exhibition must face. This will make possible to elucidate the status of an investigation that remains open, as well as update the studies carried out or in process, including the assets associated with the wreck to make them available to the public and researchers.

Keywords: *Mazarrón 2*, National Museum of Underwater Archeology ARQVA, historiography, comprehensive research project, wreck.

1. Introducción

La Reunión Internacional de Expertos (RIE) sobre la extracción y conservación del barco *Mazarrón 2*, celebrada entre el 5 y el 7 de mayo de 2022 en el Museo Nacional de Arqueología Subacuática (ARQVA), plantea la necesidad de desarrollar un «Proyecto de Estudios Previos» en una actuación arqueológica subacuática. Este proyecto es asumido conjuntamente por el MInisterio de Cultura (MCD) y la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (CARM) y se estructura en cuatro apartados: revisión de trabajos previos, actualización de la documentación arqueológica, determinación del estado de conservación del barco, y realización de pruebas con moldes subacuáticos. El primero de ellos constituye el objeto de este artículo, dado que los trabajos de síntesis sobre *Mazarrón 2*[1] son escasos.

Abordar la revisión de los trabajos previos desarrollados en *Mazarrón 2* era una asignatura pendiente. Si bien muchos de los estudios mencionados han sido descritos y constantemente referenciados, se hacía necesario plantear tanto una investigación integradora y actualizada como abordar otros temas importantes que no habían sido expuestos previamente. A lo largo del presente artículo mostramos una revisión de las investigaciones realizadas junto a los antecedentes de las mismas, de manera que permita mostrar una cronología de los acontecimientos, ordenarlos y contextualizarlos, así como subrayar algunos temas relevantes vinculados a la conservación e interpretación del pecio. La información procede de fuentes bibliográficas y documentales, estas últimas conservadas en el Archivo del Museo[2], con un valor histórico irrefutable en tanto que muestran un vínculo entre la memoria y la identidad del museo.

El Archivo del Museo custodia un volumen de documentación textual y gráfica que ha habido que localizar, revisar, analizar, recopilar y ordenar. Había una ausencia de homogeneidad en la ordenación de la información, escasez de protocolos de actuación o inexistencia de propuestas que definiesen con claridad cuáles eran las partes necesarias en un proceso de documentación, lo que hacía difícil debatir sobre la calidad y rigurosidad científica de la información conservada en el Archivo del Museo en torno a *Mazarrón 2*. Damos a conocer esta documentación inédita (fichas de tratamiento, correspondencia, dibujos, memorias, informes técnicos, proyectos, entre otros), variada y diversa en tipología. Explorar este corpus documental en su condición de fuentes de carácter primario ha sido indispensable para contrastar y comparar datos, así como para argumentar y ordenar la información dispersa[3]. En esta primera aproximación mostramos la información técnica y científica que se ha elaborado sobre el pecio, es decir, aquellas investigaciones, estudios y análisis realizados y cuyos resultados se han recogido en tesis, monografías, artículos, entre otros, sin olvidar los documentos de instituciones o personas que han tenido competencias o han actuado sobre dicho bien. No podemos olvidar la Carta Arqueológica Subacuática de la Región de Murcia, de la que proceden la mayor parte de los documentos textuales consultados, puesto que permite proceder al posterior estudio, interpretación y puesta en valor de *Mazarrón 2*.

Además de la consulta de las fuentes bibliográficas, señalamos el papel desempeñado por la documentación gráfica, que comenzó a recopilarse y ordenarse en 2011. Se encontraba dispersa y había una ausencia de información sobre su autoría o procedencia debido a la falta de registros e

---

1 En este artículo empleamos *Mazarrón 2* para referirnos al pecio, debido a que es la denominación utilizada desde su descubrimiento en 1994 y así aparece referenciado en la mayoría de las publicaciones.

2 Las autoras han podido consultar la información conservada en el Archivo del Museo y en la Carta Arqueológica Subacuática hasta el 29/09/2023, por lo que no se hacen responsables de la información contenida en documentos generados por el museo que no se encuentren disponibles hasta ese momento.

3 Hemos encontrado dossieres con diferentes tipos de soportes, documentos textuales, fotografías antiguas, fichas técnicas, fotocopias de documentación variada, diapositivas, dibujos, etc., que ha habido que integrar en el expediente correspondiente identificando las series documentales procedentes de la gestión de las actividades del museo. En la actualidad seguimos revisando la documentación histórica anterior a la creación de ARQVA.

inventarios. Cientos de dibujos y fotografías realizados en el propio yacimiento, en las campañas de actuación arqueológica, en el cargamento o en los bienes culturales asociados empezarían a tomar forma tras la creación del Archivo Fotográfico (Pérez, 2012), con información sobre la historia de ARQVA a través del edificio, las colecciones, el yacimiento, la conservación-restauración, la difusión o la investigación. Existe una gran cantidad de originales en diversos soportes y su visibilidad hace posible su estudio y consulta, de ahí que sigamos trabajando en la recuperación, conservación y gestión documental con el objetivo de ponerlos a disposición del personal interesado. De esta manera contribuiremos a una mayor y mejor difusión de los originales, y sacar a la luz fondos desconocidos y de gran valor patrimonial. Este archivo, abierto y en constante actualización y crecimiento, de forma paralela a los ingresos de materiales arqueológicos de procedencia subacuática en el museo, compone una auténtica memoria histórica de *Mazarrón 2*. Dibujos y fotografías son documentos en sí mismos, con un indudable valor patrimonial, más allá de su consideración tradicional de ser elementos ilustrativos.

El pecio *Mazarrón 2* se ubica en el yacimiento subacuático de Playa de la Isla, situado en la playa del mismo nombre en la zona costera del Puerto de Mazarrón (Cartagena, Murcia). Se localiza en aguas marítimas interiores y, por lo tanto, es de titularidad autonómica y depende de la CARM. Fue descubierto en 1994 y excavado en 1999-2001 por el entonces Museo Nacional de Arqueología Marítima dependiente del MCD, que en 2008 llevó a cabo una actuación de documentación y comprobación de su estado de conservación. La CARM lo declaró Bien de Interés Cultural, con categoría de Zona Arqueológica[4] en 2015[5] y, a partir de ese momento, se hizo cargo de las posteriores actuaciones arqueológicas.

La Convención de 2001 de Protección de Patrimonio Subacuático de la Unesco, ratificada por España en el año 2005[6], recomienda siempre que sea posible la conservación *in situ* de los restos arqueológicos subacuáticos. Sin embargo, cuando suponga un daño y pérdida del valor patrimonial del bien o cuando constituya una contribución significativa a la protección, el conocimiento o el realce de ese patrimonio, se debe valorar su extracción. Este es el caso del barco *Mazarrón 2*, protegido *in situ*, completamente enterrado dentro de una estructura metálica desde 1999, con el fin de garantizar su conservación. Pasados veinte años las condiciones del entorno del yacimiento cambiaron, lo que llevó a que en 2021 la CARM y el MCD acordasen la extracción del barco *Mazarrón 2* y su posterior tratamiento en ARQVAtec, el laboratorio de conservación y restauración del Museo Nacional de Arqueología Subacuática ARQVA, así como la organización de unas jornadas internacionales (RIE) cuyas actas son el objeto de esta monografía.

El objetivo de este artículo es hacer un compendio de las actuaciones arqueológicas, de conservación y de investigación llevadas a cabo en relación al pecio *Mazarrón 2*. A partir de las fuentes bibliográficas y documentales conservadas en el museo, de carácter textual y gráfico, trazamos un recorrido histórico que estructuramos en tres grandes bloques. El primero, la historiografía del pecio *Mazarrón 2*, se centra en la revisión de las campañas subacuáticas llevadas a cabo en el yacimiento (desde su descubrimiento hasta la actualidad) y los estudios específicos realizados (dinámica litoral, conservación, análisis e investigación de materiales, construcción naval y navegación, adscripción cultural y cronológica, interpretación y difusión). El segundo apartado comprende las distintas actuaciones, propuestas o proyectos a favor de la conservación *in situ* del barco *Mazarrón 2* o de su extracción. Por último, se presenta la situación actual y las perspectivas de futuro.

---

4 La mayor protección legal para un bien arqueológico en España y definida en el artículo 15.5 de la Ley de Patrimonio Histórico Español 16/1985.

5 *BORM* nº 74, 31/03/2015.

6 Convención aprobada en París en 2001, ratificada por España en 2005 y que entró en vigor en 2009 (*BOE*, de 5 de marzo de 2009), formando parte de nuestro ordenamiento jurídico interno español, solo por debajo de la Constitución española y con rango superior a cualquier otro acto legislativo, estatal o autonómico, promulgado hasta o desde esa fecha.

En definitiva, los resultados preliminares que presentamos en este artículo permitirán actualizar todos los estudios realizados en torno a *Mazarrón 2*, incluyendo sus bienes asociados, y ponerlos a disposición del público y del personal investigador.

2. Historiografía del pecio *Mazarrón 2*

2.1. Campañas

2.1.1. Antecedentes

El yacimiento de Playa de la Isla fue descubierto en 1988, en el marco de una prospección sistemática dirigida por Víctor Antona[7], entonces director del Museo Nacional de Arqueología Marítima y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas (MNAM-CNIAS) entre 1986 y 1989. Desde el primer momento llamó la atención la abundancia de material fenicio del círculo del Estrecho, fechable en el siglo VII a. C. (Roldán, Frutos, Pinedo *et al*., 1995). Un año más tarde, en julio de 1989, durante una visita de comprobación del estado de conservación del yacimiento realizada por Perera, Barba y Pinedo, se descubrieron unos restos de madera que más tarde se identificaron con el barco *Mazarrón 1* (Negueruela*, 1995b; Negueruela, Pinedo, Gómez *et al*., 1995; Pinedo, 1996; Cabrera, Pinedo, Roldán *et al*., 1997; Frutos, Negueruela, Perera, *et al*., 1999; Negueruela, Pinedo, Gómez, *et al*., 2000). En 1991 Paloma Cabrera[8], entonces directora del museo, dirigió una campaña para excavar, documentar y cubrir los restos de la embarcación con un túmulo de arena fina, malla, grava, malla metálica y piedras (Roldán, Frutos, Pinedo *et al*., 1995, p. 509; Cabrera, Pinedo, Roldán *et al*., 1997, pp. 151-155).

En 1993 el Proyecto Nave Fenicia fue impulsado por Iván Negueruela[9], entonces director del museo, en colaboración con el Ministerio de Cultura (MCU) y la CARM. Contó con una subvención de 20 millones de pesetas de la Caja de Ahorros del Mediterráneo, junto con la aportación económica del MCU. Se desarrolló en dos campañas, la primera entre septiembre de 1993 y junio de 1994, la segunda entre enero y junio de 1995. Tuvo dos objetivos principales: la prospección sistemática de la bahía de la Playa de la Isla, así como la excavación y extracción del primer barco. Durante la prospección de 1994, se localizó el segundo barco (Negueruela, Pinedo, Gómez *et al*., 1995, pp. 189-190; Negueruela, Pinedo, Gómez, *et al*., 2000, p. 1671; Negueruela 2005b, pp. 11-12).

2.1.2. Descubrimiento, sondeo y protección in situ *(1994-1998)*

El denominado barco *Mazarrón 2* se localizó en la primavera de 1994, en la segunda campaña del Proyecto Nave Fenicia, durante las prospecciones sistemáticas realizadas en la Playa de la Isla. El descubrimiento del segundo barco y las primeras actuaciones llevadas a cabo fueron presentadas en 1995 por Negueruela y el equipo de arqueólogos subacuáticos[10] participante en las mismas, en el ámbito regional (Murcia) e internacional (Cádiz), aunque las correspondientes publicaciones tardaron años en ver la luz (Arellano, Barba, Gómez *et al*., 1999; Negueruela, Pinedo, Gómez *et al*., 2000). Más adelante, estas actuaciones fueron reflejadas en sucesivos artículos (Negueruela, González, San Claudio *et al*., 2004; Negueruela, 2004; Negueruela, 2005b).

Al explicar las circunstancias del hallazgo del segundo barco, a 50 m del primero, se menciona la persona que localizó en superficie unos restos de madera, Emilio Peñuelas (Negueruela, González, San Claudio *et al*., 2004, p. 453; Negueruela, 2004, p. 228; Negueruela, 2005b, p. 13). Sobre el fondo

7 Director del museo entre 1986 y 1989.
8 Directora del museo entre 1989 y 1992.
9 Director del museo en tres periodos: 1992-2006, enero-abril 2010 y 2013-2021, fecha en la que deja el cargo por jubilación.
10 Juan Pinedo, Mercedes Gómez, Ana Miñano, Inmaculada Arellano y Santos Barba.

afloraban nueve cuadernas de sección cilíndrica que dibujaban en planta una curvatura similar a un barco. Para confirmar la hipótesis de que se trataba de un segundo barco, se hizo un sondeo de 2 x 2 m en la zona central de la embarcación. Entre las sucesivas capas de arena, aparecieron dos estratos de *Posidonia oceánica* muerta que sellaban el conjunto. Se documentaron varios objetos y restos de cargamento (un ánfora Trayamar y otros fragmentos cerámicos, un capazo de esparto con asa de madera, restos de cuerda, los negativos de dos objetos que podrían corresponderse con dos cestos vegetales ya desaparecidos, lingotes de plomo y restos de abarrote), así como las características constructivas de la nave, muy similares a las de la primera embarcación (cuadernas cosidas con fibra vegetal a la tablazón, unión de las tracas entre sí mediante el sistema de mortaja, lengüeta y pasador, calafateado interior y exterior). Paralelamente, se tomaron varias muestras de posidonia, madera y abarrote para su datación por C-14 (Arellano, Barba, Gómez *et al.*, 1999, pp. 221-222; Negueruela, Pinedo, Gómez, *et al.*, 2000, pp. 1673-1674; Negueruela, 2005b, pp. 13-14), tal como explicamos en el apartado 2.2.3. En esta actuación se constata que el barco estaba casi completo, hundido en su posición natural de navegación y que conservaba su curvatura original, con una eslora de 8,15 m, una manga de 2,20 m, y un puntal de 0,9 m (Negueruela, 2004, pp. 229 y 235), destacando Negueruela la excepcionalidad de conservar aún su cargamento en el interior (Negueruela*, 1995a, p. 1)[11].

Una vez finalizada la intervención de 1994, los restos del barco se protegieron con sucesivas capas de arena, malla y grava (Arellano, Barba, Gómez *et al.*, 1999, p. 222; Negueruela, Pinedo, Gómez *et al.*, 2000, p. 1674). En 1995[12] se superpuso un túmulo, que fue vigilado con una periodicidad de entre dos y cuatro semanas en 1995, 1996, 1997 y 1998, reparando los desperfectos ocasionados por el mar o por un intento de «violación» del túmulo (Negueruela, González, San Claudio *et al.*, 2004, p. 456). En la campaña de 1997 de reprospección del yacimiento se vuelve a depositar arena de cubrición, ya que el túmulo de arena comenzaba a descarnarse (Negueruela, Moya, Marín *et al.*, 2004, p. 277). *Mazarrón 2* no se puede excavar en 1998 porque el convenio entre la CARM y el museo no se firma hasta el 13 de diciembre[13], siendo entonces cuando aparece por primera vez la idea de extraer su cargamento[14] teniendo en cuenta que se estaba iniciando el proceso de construcción del futuro museo.

2.1.3. Excavación (1999-2001)

La excavación del barco *Mazarrón 2* se llevó a cabo en el marco de un proyecto de investigación trianual denominado «Proyecto de Carta Arqueológica Subacuática del Litoral de la Región de Murcia I: Mazarrón»[15], dentro del Plan Nacional de I+D+i, que había sido presentado y aprobado por la Fundación Séneca en 1997. El proyecto fue dirigido por Iván Negueruela, que contó con un numeroso equipo humano[16] (Negueruela, González, San Claudio *et al.*, 2004, pp. 459-460; Negueruela, 2005b, pp. 11-12, 17). Los trabajos se desarrollaron entre octubre de 1999 y mayo de 2001.

---

11 La excepcionalidad de conservar el cargamento en el interior se reitera cuatro años después en el documento escrito por la dirección del museo y enviado al Instituto de Patrimonio Español con fecha 8/11/1999, pp. 2-3. Ambos documentos se conservan en el Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática, con número de registro de salida 11 y 139 respectivamente. Expediente 12/1994/01.

12 En la bibliografía se mencionan dos fechas diferentes de colocación del túmulo. Una, en 1994 (Negueruela, González, San Claudio *et al.*, 2004, p. 470) y otra en 1995 (Negueruela, González, San Claudio *et al.*, 2004, p. 456).

13 Carta enviada por el director del museo a Ángel Iniesta, fechada el 11/03/1999. Expediente 12/1994/01. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

14 Carta enviada por el director del museo al director general de Cultura de Murcia, fechada el 10/06/1998. Expediente 12/1994/01. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

15 Proyecto PLP/7/FS/97.

16 Dos arqueólogos buceadores (Raúl González y Miguel San Claudio), una antropóloga buceadora (María Presa), un geógrafo buceador (Ángel Méndez), un fotógrafo buceador (Pedro Ortiz), un químico buceador (Juan Luis Sierra), dos restauradoras (Eva Mendiola y Belén Fernández), dos buceadores profesionales (Carmelo Fernández y Remedios Albaladejo), un patrón de barco (Emilio Peñuelas) y una arqueóloga de tierra (Carmen Marín) y un cajero pagador (Alfonso García) (Negueruela, González, San Claudio *et al.*, 2004, p. 460).

Un avance preliminar de la excavación del barco *Mazarrón 2* (noviembre de 1999 a marzo del 2000) fue presentado por Negueruela, González, San Claudio, Méndez, Presa y Marín, en el II Congreso Internacional del Mundo Púnico, celebrado en Cartagena en abril del 2000 y cuyas actas fueron publicadas en 2004 (Negueruela, González, San Claudio *et al*., 2004). Los resultados parciales de cada una de las intervenciones anuales fueron presentados en las Jornadas de Arqueología Regional correspondientes a los años 1999 y 2000, siendo publicado solo su resumen (Negueruela, González, Correa *et al.,* 2000; Negueruela, González, San Claudio *et al*., 2001), pero no llegaron a publicarse en la Serie de Memorias de Arqueología de la Región de Murcia en años posteriores. Un breve resumen de las actuaciones es publicado en la revista *Carlatum* (Negueruela, 2005b). Por último, los resultados de esta campaña de 1999-2001 se incluyen en la memoria general de todos los trabajos arqueológicos subacuáticos realizados en el yacimiento de Playa de la Isla entre 1993 y 2001 (VV.AA.*, 2010)[17].

Entre septiembre y octubre de 1999 se realizaron los trabajos preliminares y preparativos en tierra. A finales de noviembre comenzaron las actuaciones en agua, con la colaboración de los Grupos Especiales de Actividades Subacuáticas (GEAS) de la Guardia Civil que, bajo la supervisión de los técnicos del proyecto, retiraron el túmulo que había sido instalado en 1994. A continuación, una vez delimitado el perímetro del barco, se procedió a instalar la denominada «caja fuerte»[18], que es una segunda versión de la diseñada para la excavación de *Mazarrón 1*, pero mejorada y adaptada a las dimensiones de *Mazarrón 2* (s.a., s.f., p. 2). Esta estructura se instaló para asegurar la protección del barco antes de iniciar su excavación (Negueruela, 2000a, pp. 113-115; Negueruela, 2000b, pp. 193-194; Negueruela, González, San Claudio *et al*., 2004, pp. 462-464, 470; Negueruela, 2005b, p. 18).

Para llevar a cabo la excavación, Negueruela señala que se diseñaron *ex novo* una serie de instrumentos como la caja fuerte citada, el buscador de coordenadas, las paredes transparentes, los arbotantes o una retícula de cuerdas específica (Negueruela, 2005b, p. 18; VV.AA.*, 2010, pp. 57-59).

Tras la instalación de la estructura de protección, la excavación comenzó en el área delimitada por la caja fuerte con la retirada de las primeras capas de arena, unos 20-30 cm, hasta localizar el nivel de posidonia muerta, que no sellaba toda la zona, como se había supuesto. Sorprendió la ausencia del sello de posidonia en el tercio oeste del barco, así como en el cuadrante noroeste de la caja. Los sedimentos se retiraron siguiendo los horizontes naturales dados por las sucesivas capas de posidonia fósil (San Claudio, 1999). A continuación, se centraron en la excavación del interior del barco en tres sectores —oeste, este y central—, para poder documentar el cargamento antes de extraerlo y acabaron en la zona externa oeste del barco, donde se esperaba encontrar el ancla (Negueruela, González, San Claudio *et al*., 2004, p. 470; Negueruela, 2005b, p. 19) (Figura 1).

Se comenzó a excavar en el tercio oeste, en la zona en la que faltaba el sello de posidonia. En esa área se documentó la desaparición de una bancada o bao y una cuaderna, así como un ladrillo industrial moderno en el fondo. Esto fue interpretado como un intento de saqueo anterior a 1993, una fosa practicada por algún buceador clandestino con detector de metales y que habría desistido al encontrarse con fragmentos de lingotes de metal (Negueruela, González, San Claudio *et al*., 2004, pp. 473-474; VV.AA.*, 2010, pp. 64-65 y 72).

A continuación, se excavó el tercio este, cubierto casi por completo por un sello de posidonia. Una vez retirados, se documentaron cuatro baos y varios lingotes de plomo sobre un lecho de abarrote. De esta zona se extrajeron tres baos, un asa[19] y una vara de madera de sección circular,

[17] Este documento sobre las campañas de 1993 a 2001, conservado en el Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática, fue redactado en 2010 y enviado a la CARM en dos ocasiones, en 2012 por Xavier Nieto (documento de 3/04/2012) y en 2018 por Iván Negueruela (oficio de 21/03/2018, Registro de Salida 67). Expediente 12/1994/01, Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

[18] Se trata de un sistema de protección *in situ* que se conoce coloquialmente como «caja fuerte» y que está formado por una estructura metálica modular que puede abrirse y cerrarse garantizando la seguridad del barco.

[19] Esta asa de madera (Inv. MZ-2000-B2-1832) se encuentra en la vitrina «Los fenicios», en la exposición permanente del museo.

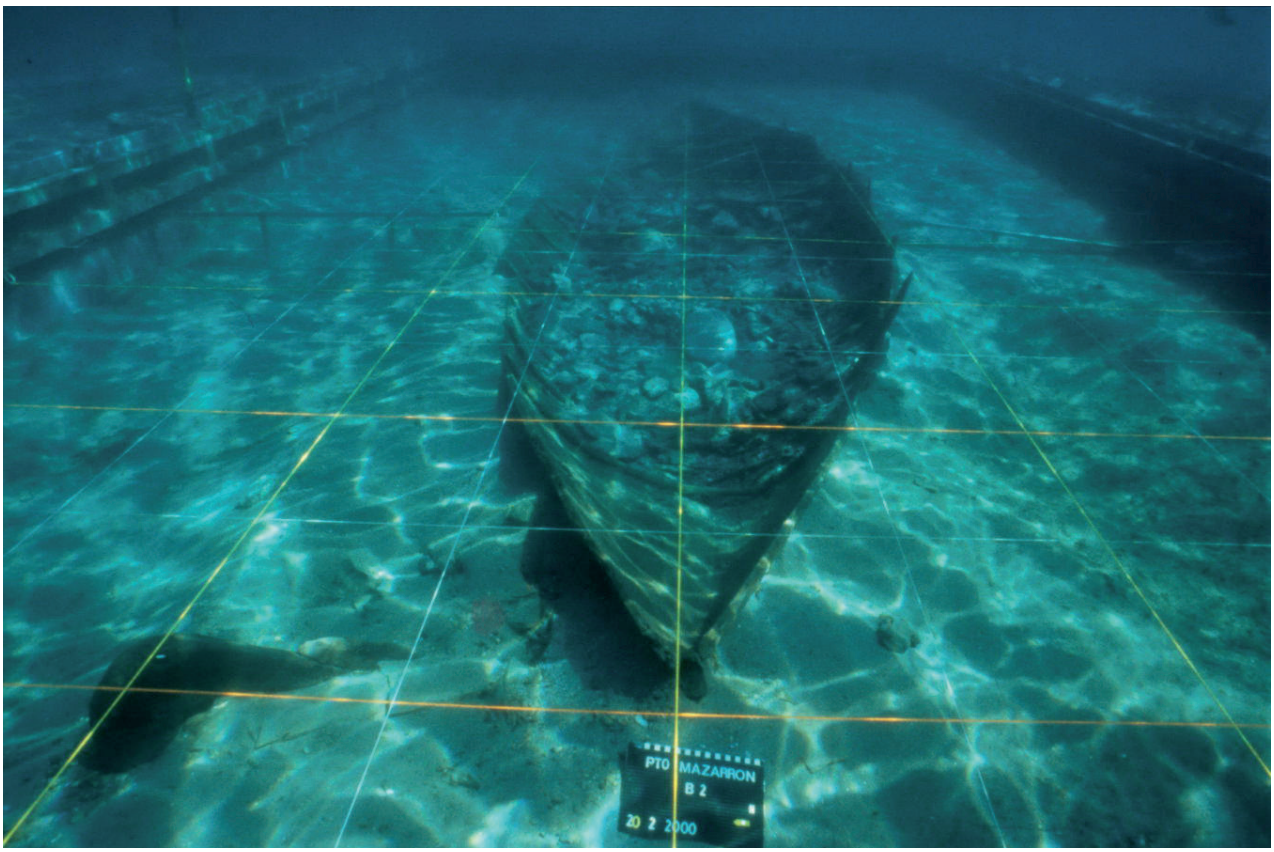


Figura 1. Excavación de Mazarrón 2 en el año. 2000. Fotografía: Pedro Ortiz.

y con un fragmento de cuerda anudado a uno de sus extremos (Negueruela, González, San Claudio *et al.,* 2004, pp. 474-475; VV.AA.*, 2010, pp. 66-69).

En la zona central del barco, donde se realizó el sondeo en 1994, se volvieron a documentar y se extrajeron los fragmentos anfóricos, numerosos restos de cabo y una espuerta de fibra vegetal con asa de madera[20], así como varios fragmentos de hueso (Negueruela, González, San Claudio *et al.*, 2004, pp. 475-477; Negueruela, 2005b, p. 23; VV.AA.*, 2010, pp. 69-72; Miñano, 2014, p. 11).

Posteriormente, la zona central se abrió en extensión hasta unirla con las ya excavadas, tercios oeste y este, y al hacerlo encontraron numerosos lingotes de plomo y, sobre ellos, un molino de mano de piedra en la mitad oeste. El cargamento de lingotes de plomo se distribuye a lo largo de todo el barco a excepción de tres zonas, el área en torno a la sobrequilla y la carlinga, la roda y el codaste (Negueruela, González, San Claudio *et al.*, 2004, pp. 477-478; Negueruela, 2005b, p. 24; VV.AA.*, 2010, pp. 71-72).

Una vez que todo el barco ya había sido excavado, se documentó mediante fotogrametría y se extrajo el cargamento compuesto por 1797 fragmentos de lingotes de óxido de plomo, según la interpretación de los autores, con un peso total de 2800 kilos. Se disponía sobre una capa formada por ramas de abarrote, cuyo fin sería la de proteger el casco de madera (Negueruela, 2004, p. 234;

[20] Durante su extracción en el año 2000 el cesto (Inv. DO00004), interpretado como una espuerta, se rompió. Este material orgánico (espuerta y asa) permaneció, desde entonces, en un contenedor con arena y agua (Negueruela*, 2004, p. 2). En 2005 se retiró la arena y se realizó el cambio de agua para facilitar y proseguir con la eliminación de sales solubles, proceso imprescindible y previo al tratamiento de consolidación y secado. No se disponía de documentación sobre la espuerta desde su extracción, ni ficha de tratamiento o documentación gráfica asociada que permitiera realizar un seguimiento de su estado de conservación (Buendía*, 2005a, pp. 24-30; 2005d, pp. 2-7; 2006a, pp. 21-22).

Negueruela, González, San Claudio *et al.*, 2004, p. 478; VV.AA.*, 2010, pp. 72-73). Una vez retirado el cargamento y el abarrote, para poder documentar los elementos constructivos del barco, se eliminó la resina que impermeabilizaba su interior en la mitad oeste, para poder ser dibujado a escala 1:1 mediante calco con punzón sobre Lexan® (Negueruela, 2004, pp. 234-235; VV.AA.*, 2010, pp. 73-74; Miñano, 2014, p. 3).

Por último, se excavó en la zona exterior noroeste a 1 m del barco, donde en 1994 se localizó una pieza curva de madera, siguiendo la hipótesis de que pudiera tratarse del ancla de madera de la nave, como la del Ma´agan Michael de Israel (Negueruela, González, San Claudio *et al.*, 2004, p. 470). En diciembre de 1999 se hizo una cata que confirmó esa hipótesis. En la primavera del 2000 se excavó esta ancla de madera, con doble uña, cepo de plomo embutido en madera y atado a la caña, y arganeo. Junto a ella se conservaba un tramo de algo más de 1,20 m de la estacha que unía el ancla al barco. Extrajeron la caña con una de las dos uñas, gran parte de la estacha y dejaron *in situ* el cepo y el arganeo (Negueruela, González, San Claudio *et al.*, 2004, p. 478; Negueruela, 2004, p. 235; VV.AA.*, 2010, p. 75). A 60 m del barco *Mazarrón 2*, en dirección suroeste, se localizó un cepo de plomo[21] de base truncada de otra ancla del mismo tipo, realizándose para su extracción una cata de excavación a 2,9 m de profundidad (Fernández, 2003, p. 335).

Esta intervención arqueológica, desde la instalación de la caja fuerte, los trabajos de excavación, retirada del cargamento y cubrición del barco, duró 18 meses, desde noviembre de 1999 hasta mayo de 2001, por lo que el barco permaneció abierto más de un año. Durante ese periodo, además del cargamento de mineral de plomo y otros elementos de la vida a bordo que transportaba (fragmentos de ánfora, base y rulo de un molino de mano de piedra, fragmentos óseos), se extrajeron más de un centenar de piezas de madera (124), piezas completas y fragmentos de tracas, cuadernas, pasadores, lengüetas, dos fragmentos de tapa de regala de estribor y tres baos, 13 cajas de abarrote y 50 cabos o fragmentos de cabo, una vara de madera con restos de cabo, un capazo de esparto con asa de madera, una asa de madera, una estacha, dos elementos de un ancla de madera, tal y como se detalla en la Tabla 1 del apartado 2.2.2. de este artículo.

Una vez terminada la excavación, hacia octubre de 2000, Negueruela indica en un informe que «no pudo cerrarse el yacimiento, por razones de climatología y renovación de contratos, hasta Enero-Febrero de 2001» (Negueruela*, 2002b). Finalmente, en mayo de 2001, se procedió a enterrarlo con arena de la zona y cubrirlo con sucesivas capas de arena, mallas metálicas, las tapas de la caja y sacos de piedras (Negueruela, 2000a y 2000b). En los años 2000[22] y 2001 se señala la existencia de averías en la caja fuerte a consecuencia de los temporales, que quedaron corregidas en abril de 2001 (Negueruela*, 2001, pp. 2-3).

2.1.4. Actuaciones de comprobación y documentación (2007-2008)

En febrero de 2007 Rafael Azuar[23], como director del museo, presentó al MCU un anteproyecto para realizar una nueva actuación arqueológica en el pecio *Mazarrón 2*. Una vez validado el anteproyecto y comprometida su financiación, desde el museo se redactó el proyecto denominado «Comprobación del estado de conservación del barco fenicio *Mazarrón 2* y de su estructura de protección», que fue autorizado por la CARM[24]. La intervención fue financiada por la Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales, a través de tres de sus Subdirecciones Generales (SG)[25] y del propio

---

21 Dimensiones del cepo de ancla: 48 cm de largo x 4,8 cm de ancho x 7 cm de alto y peso aproximado de 12 kilos.

22 Escrito del director del museo al jefe de Demarcación de Costas solicitando autorización para maniobrar con la estructura, fechado el 10/04/2000. Expediente 12/1994/01. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

23 Director del museo entre 2006 y 2010.

24 Resolución, de 15-10-2007, de la Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales de la CARM por la que concede permiso de supervisión arqueológica al citado proyecto.

25 Subdirección General del Instituto del Patrimonio Histórico Español (IPHE), actual Instituto del Patrimonio Cultural Español; Subdirección General de Protección del Patrimonio Histórico (SGPPH), actual Subdirección General de Gestión y Coordinación de Bienes Culturales; y la Subdirección General de Museos Estatales (SGME).

museo. La dirección científica del proyecto estuvo a cargo de Ana Miñano, Francisco Fernández, Rocío Castillo y M. Ángeles Pérez, bajo la coordinación de Rafael Azuar. Se contó con un equipo humano multidisciplinar de más de veinte técnicos, entre personal del museo[26], técnicos contratados[27] y colaboradores externos[28], así como con el apoyo de dos empresas[29] (Miñano, Fernández, Castillo *et al.**, 2011).

En 2008, en las Jornadas de APME dedicadas a Museos, Mar y Arqueología, se presentó un póster que incluía un avance del dibujo arqueológico realizado y la posterior elaboración de modelos 3D (Rodríguez, 2009, p. 346-348). En marzo de 2011, Miñano, Fernández, Castillo y Pérez entregaron a la CARM la memoria final de la actuación (Miñano, Fernández, Castillo *et al.**, 2011). A finales de ese año, la intervención fue presentada por Miñano, Fernández y Castillo en las Jornadas de ARQVA 2011 publicadas posteriormente (Miñano, Fernández y Castillo, 2012, pp. 158-164). La metodología empleada para documentar el barco con fotogrametría y fotomosaico fue objeto de un estudio específico realizado por Miñano, Fernández y Casabán, publicado en la revista *Saguntvm* (Miñano, Fernández y Casabán, 2012, pp. 99-109). Finalmente, un resumen de esta campaña fue incluido en un artículo general del pecio (Miñano, 2014, pp. 3-6).

Desde 2001, una vez finalizada la excavación y extraído el cargamento, el barco había permanecido *in situ* enterrado bajo una estructura metálica de protección, también conocida como caja fuerte. Pasados seis años de esa última intervención integral, no se había acometido ninguna actuación destinada a comprobar la efectividad de la estructura de protección, ni se había destapado la misma para comprobar el estado de conservación del barco propiamente dicho (Miñano, Fernández, Castillo *et al.**, 2011, p. 4; Miñano, Fernández y Castillo, 2012, p. 159; Miñano, 2014, pp. 2-3). Por ello, en 2007 el museo planteó un proyecto con los siguientes objetivos: evaluar el estado de conservación de la estructura de protección del pecio, su posible corrosión y el grado de afectación de la dinámica litoral sobre ella; verificar las condiciones de conservación de la madera del barco y comprobar si se había visto afectado por la extracción del cargamento metálico, la arena con la que estaba enterrado o la estructura metálica de protección; actualizar la documentación gráfica y topográfica existente, con nuevas técnicas y procesos digitales, para avanzar en el conocimiento del yacimiento y obtener nuevas imágenes para el montaje de la exposición del nuevo museo; filmar toda la intervención para poder preparar audiovisuales científicos y divulgativos; proteger adecuadamente el barco para garantizar su protección *in situ* y valorar las distintas estrategias futuras, de conservación *in situ* o extracción del barco (Miñano, Fernández, Castillo *et al.**, 2011, pp. 21-22 y 27; Miñano, 2014, p. 4).

A finales de 2007 se hicieron algunos trabajos puntuales de acondicionamiento del exterior del yacimiento y de adecuación de la estructura de protección. Entre el 22 de octubre y el 2 de noviembre se limpió la estructura de protección para valorar qué elementos había que reforzar o cambiar y se retiraron tanto las vigas transversales como los sacos del túmulo exterior. Entre el 10 y el 21 de diciembre se instalaron los elementos reforzados (antiguas vigas con un nuevo tratamiento anticorrosivo) y otros recién fabricados (nuevas tapas y varillas de

---

26 El director del museo (Rafael Azuar); una conservadora de museos (M. Ángeles Pérez) y una arqueóloga buceadora (Rocío Castillo), como codirectoras; una conservadora-restauradora buceadora (Milagros Buendía), un químico buceador (Juan Luis Sierra), un patrón de barco (Emilio Peñuelas) y un cajero pagador (Alfonso García).

27 Dos arqueólogos buceadores y codirectores (Ana I. Miñano y Francisco Fernández), cuatro arqueólogos buceadores (José Luis Casabán, José Rodríguez, David Munuera y Josué Mata), un buceador profesional jefe de equipo (Francisco Bañuelos), durante toda la campaña; tres conservadoras-restauradoras (Beatriz Blas, Ana E. Carcelén y Ruth Ors), puntualmente; y tres técnicos del Taller de Imagen de la Universidad de Alicante (José Antonio Moya, Juan Sebastián Miralles y Alicia Bustos).

28 Manu Izaguirre, experto en arquitectura naval (Diputación Foral de Guipúzcoa) y Luis Carlos Zambrano, conservador-restaurador especialista en moldes subacuáticos (Museo de Cádiz).

29 Las empresas Archeonauta y Trasubeco aportaron cuatro buzos profesionales para el desmontaje inicial, reparación y cierre final de la estructura de protección, entre otros servicios.

cierre), por lo que durante unas semanas el pecio estuvo protegido por un doble sistema de tapas superpuestas[30]. Al reforzar la estructura de protección se garantizó la seguridad del pecio durante la actuación propuesta y una vez concluida la misma (Miñano, Fernández, Castillo *et al.**, 2011, pp. 27-31).

Las siguientes actuaciones subacuáticas se planificaron para minimizar su impacto sobre el pecio, con el objetivo de que el barco estuviese abierto y expuesto el menor tiempo y en la menor superficie posible. Para ello, el pecio se fue abriendo por sectores, los técnicos trabajaron simultáneamente en distintas áreas y según terminaban las iban protegiendo con sacos de arena. Solo al final de la campaña hubo dos jornadas en las que se desmontó la caja y se destapó todo para poder filmar el barco completo. Además, para garantizar la seguridad del pecio, la caja fuerte se abría solo en las zonas de trabajo y se cerraba diariamente con todas las tapas, varillas de cierre y candados.

A principios de enero de 2008, tras abrir la estructura de protección y retirar las capas superficiales del túmulo interior (grava y mallas), comenzó la reexcavación del pecio con la retirada de los sacos y la arena que protegía el barco. Se comprobó que en la anterior campaña no se había concluido la excavación, dado que se localizaron algunos materiales *in situ* (cabos, fragmentos cerámicos y abarrote), junto con varios fragmentos de madera sueltos procedentes de la estructura arquitectónica del casco[31] (Miñano, Fernández, Castillo *et al.**, 2011, pp. 31-33; Miñano, Fernández y Castillo 2012, p. 159).

La actualización de la documentación del barco, en especial de su arquitectura naval, se hizo con varios métodos complementarios (Miñano, Fernández, Castillo *et al.**, 2011, pp. 33-48; Miñano, Fernández y Castillo, 2012, pp. 159-162; Miñano, Fernández y Casabán, 2012, pp. 102-108). Una detallada documentación fotogramétrica[32] del interior del casco del pecio y el procesado de imágenes con Photomodeler permitió la elaboración de un modelo tridimensional (Figura 2), que fue exportado y tratado con sistema CAD (Miñano, Fernández, Castillo *et al.**, 2011, pp. 37-42; Miñano, Fernández y Casabán, 2012, pp. 102-107). El dibujo ortogonal del casco[33], en concreto sus secciones transversales y una sección longitudinal, se realizó siguiendo el sistema tradicional de dibujo arqueológico y exportando los resultados al sistema CAD (Miñano, Fernández, Castillo *et al.**, 2011, pp. 43-48; Miñano, Fernández y Castillo, 2012, pp. 160-161). Ambos modelos tienen un error máximo de 5 mm a escala 1.1. Además, se llevó a cabo un fotomosaico[34] completo de la estructura del barco, de alta resolución (Miñano, Fernández, Castillo *et al.**, 2011, pp. 34-36; Miñano, Fernández y Castillo, 2012, pp. 106-107). En paralelo, los técnicos del Taller de Imagen documentaron todos los trabajos realizados en la campaña, con unas 4000 fotografías y 20 horas de vídeo en alta definición; así mismo hicieron 285 fotografías de detalles de arquitectura naval (Miñano, Fernández, Castillo *et al.**, 2011, pp. 53-57).

Los trabajos de conservación[35] realizados durante la campaña fueron los siguientes: fijación de algunas cuadernas, tracas y bancadas, con tubos de silicona compacta y/o mediante cosido con

---

30 Queremos dejar constancia que ese doble juego de tapas solo permaneció en la estructura en las últimas semanas de 2007 y que no volvió a utilizarse cuando se cerró el yacimiento al acabar la actuación en 2008. Sin embargo, esa superposición temporal generó confusión y una alarma injustificada años después. En las inspecciones de 2018-2019 se observó solo una capa de tapas y se dedujo erróneamente que la estructura había perdido toda la capa superior de tapas, una segunda capa que nunca estuvo allí. Esa interpretación se incluyó en informes y generó mucha alarma en distintos medios de comunicación, porque inexplicablemente se dio por hecho que se habían utilizado dos capas de tapas para el cierre definitivo del yacimiento en 2008.

31 Se desconocen las circunstancias por las que esos fragmentos de madera se depositaron fuera de su ubicación original y no llegaron a recuperarse en la campaña de 1999-2001.

32 Realizada por José Luis Casabán Banaclocha.

33 A cargo de Manu Izaguirre y José Rodríguez Iborra, en coordinación con Francisco Fernández Matallana.

34 Realizado por Ana Miñano Domínguez.

35 Llevados a cabo por la conservadora-restauradora Milagros Buendía y el químico Juan Luis Sierra (Museo Nacional de Arqueología Subacuática), con el asesoramiento del conservador-restaurador Luis Carlos Zambrano y la colaboración puntual de las conservadoras-restauradoras Beatriz Blas, Ana E. Carcelén y Ruth Ors.

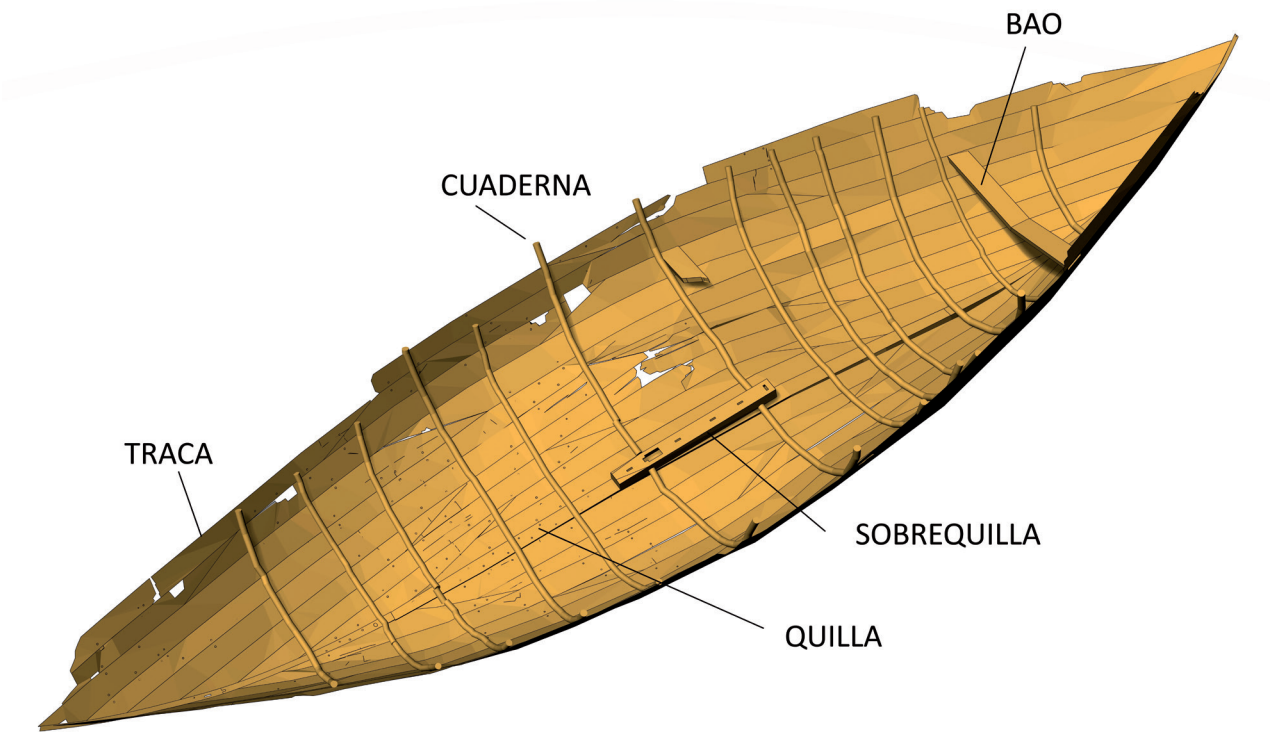


Figura 2. Modelo tridimensional del barco Mazarrón 2, a partir de la fotogrametría realizada en 2008. Imagen: José Luis Casabán.

agujas quirúrgicas o con el apoyo de un bastidor; instalación de nuevos codales telescópicos entre las bordas, para soportar y contrarrestar las presiones laterales del lecho marino sobre el pecio; y extracción de un cabo adujado utilizando un molde de silicona y un refuerzo de resina (Miñano, Fernández, Castillo *et al.**, 2011, pp. 57-61). Para esto último se contó con el asesoramiento del conservador-restaurador Luis Carlos Zambrano, especialista en la extracción de materiales arqueológicos extremadamente frágiles, quien además redactó un informe técnico valorando el estado de conservación del barco *Mazarrón 2* (Zambrano*, 2008).

Una vez cumplidos los objetivos de la campaña, a principios de marzo de 2008, se procedió a cerrar adecuadamente el yacimiento utilizando el mismo sistema que se empleó en 2001. En primer lugar, la estructura del barco se protegió con bolsas de plástico llenas de arena, que se cubrieron con arena procedente de la propia excavación del pecio. A continuación se colocaron una malla textil y otra metálica, fijadas con arena y grava. Finalmente, para cerrar la estructura de protección, se instaló un único juego de tapas[36] que se cubrió con piedras de mediano y gran tamaño, así como con sacos de arpillera rellenos de grava fina (Miñano, Fernández, Castillo *et al.**, 2011, pp. 62-64), siguiendo el mismo procedimiento empleado en el año 2001.

Todos esos trabajos en el *Mazarrón 2* (reexcavación, documentación científica y conservación y reenterramiento del barco y cierre de la caja fuerte) se realizaron entre el 7 de enero y el 12 de marzo de 2008. Durante esas diez semanas se extrajeron aquellos materiales arqueológicos que no se habían recuperado durante la excavación del año 2000. En el inventario de 2008 (Miñano, Fernández, Castillo *et al.**, 2011, Anexo 3) se relacionan los siguientes materiales: 11 fragmentos de cerámica, 8 fragmentos de lingote de plomo, abarrote, un cabo adujado y un fragmento de cabo, así como 25 elementos de madera (un puntal y fragmentos de tracas, cuadernas, lengüetas y otros), tal y como se detalla en la Tabla 1 del apartado 2.2.2. de este artículo.

[36] Insistimos de nuevo en que en 2008 solo se instaló un juego de tapas y no dos como algunos supusieron. Aprovechamos para intentar aclarar ese malentendido. Véase la nota 30.

Finalmente, en la segunda quincena de junio de 2008, se volvió al yacimiento para retirar los elementos auxiliares que quedaban en superficie (pontona y corchera) y en el fondo (anclas de fijación y otros elementos subacuáticos) con el objetivo de dejar la zona recogida y limpia antes del inicio de la temporada estival.

El material gráfico, fotográfico y planimétrico de la actuación de 2007-2008 fue utilizado en la nueva exposición permanente de ARQVA inaugurada en noviembre de 2008. Por una parte, la nueva documentación gráfica obtenida permitió hacer una restitución 3D del pecio que se utilizó para producir una réplica escala 1:1 del barco con su cargamento y una sección hipotética del mismo para la exposición del nuevo museo (Miñano 2014, p. 4; Rodríguez, 2009, pp. 346-348). Por otra parte, las filmaciones realizadas por el Taller de Imagen fueron empleadas para realizar algunos de los audiovisuales de esa nueva exposición permanente y para producir dos documentales (Miñano, Fernández, Castillo *et al.**, 2011, p. 54). Todos estos aspectos se detallan en el apartado 2.2.8. de este artículo.

A modo de conclusión, los codirectores de la intervención de 2007-2008 hicieron una valoración de resultados en la memoria científica. En relación al estado de conservación de la estructura de madera del barco *Mazarrón 2* se constató que «sin ser el idóneo, sí puede ser aceptable a corto plazo» (Miñano, Fernández, Castillo *et al.**, 2011, p. 65). Al reexcavarlo, hubo que consolidarlo y reforzar los puntos más delicados (cuadernas, restos de baos, tracas superiores, etc.). La comparación de la documentación gráfica de las tres actuaciones (descubrimiento y sondeo en 1994, excavación de 2000-2001 y comprobación y documentación de 2008) puso de manifiesto que el pecio había sufrido importantes alteraciones durante las intervenciones arqueológicas realizadas (Miñano, Fernández, Castillo *et al.**, 2011, pp. 64-65).

Respecto a la estructura metálica de protección, se documentó que, al menos hasta 2008, había garantizado la preservación *in situ* del barco. No obstante, se observaron dos problemas: el deterioro de la estructura exterior de hierro galvanizado por la acción del mar, que se subsanó en 2007 como se ha comentado anteriormente; y un ligero hundimiento de la estructura metálica en el lecho marino, que podría llegar a aplastar el barco si no se tomasen las medidas necesarias. Por todo ello, se consideró que, si bien no era extremadamente urgente, sí sería necesario a corto/medio plazo tomar las medidas correctoras necesarias para evitar el progresivo deterioro del pecio y su posible destrucción (Miñano, Fernández, Castillo *et al.**, 2011, pp. 64-66).

La citada memoria científica incluía entre los anexos los informes técnicos de varios especialistas: una valoración sobre el estado de conservación del barco (Zambrano*, 2008), un análisis de su arquitectura naval (Izaguirre, 2008), la documentación fotogramétrica (Casabán*, 2008) y la documentación fotográfica de la construcción naval (Moya y Miralles*, 2008).

2.1.5. Inspecciones realizadas por ARQVA (2012-2014)

En septiembre de 2012, tras un aviso en el que se comunicaba que la estructura de protección del pecio *Mazarrón 2* estaba siendo alterada, los técnicos del museo[37] realizaron una inspección en el yacimiento. Comprobaron que la estructura de protección no se había tocado y seguía intacta, puesto que las planchas que cerraban la caja continuaban cubiertas con las piedras y los sacos de grava instalados en 2008 (Miñano*, 2012, pp. 62-69), constatando que se trataba de una falsa alarma (Miñano y Castillo, 2013, p. 925).

[37] Las arqueólogas Ana Miñano y Rocío Castillo, junto con el patrón de barco Emilio Peñuelas.

En agosto de 2014, la presencia de unos buceadores merodeando alrededor del pecio *Mazarrón 2* fue comunicada a la policía municipal de Mazarrón y al SEPRONA de la Guardia Civil. Esta unidad denunció a tres submarinistas, a los que incautaron distintas piezas y material diverso para la detección submarina. Tras tener conocimiento de esta denuncia, la Dirección General de Bienes Culturales de la CARM avisó al Museo ARQVA para programar una inspección. Dos técnicos del museo[38] revisaron la estructura de protección del pecio, sin detectar ninguna alteración antrópica. Así mismo, hicieron varios recorridos en su entorno y en la ensenada sin localizar rastro de ningún sondeo ilícito (Miñano y Munuera*, 2014).

2.1.6. Actuaciones de la CARM (2015-2019)

A partir de 2015, tras la declaración del yacimiento de Playa de la Isla como BIC y en coordinación con la Comisión de expertos para el seguimiento de las actuaciones sobre el barco Mazarrón II[39] (en adelante Comisión de expertos sobre el barco Mazarrón II[40]), la CARM asume la iniciativa y promueve las intervenciones arqueológicas subacuáticas que se resumen a continuación.

En noviembre de 2015 y febrero de 2016, la Comisión de expertos sobre el barco Mazarrón II, como paso previo a la extracción de la citada embarcación, ratificó la necesidad de realizar un estudio integral del yacimiento subacuático de Playa de la Isla que comprendiese estudios previos, prospecciones arqueológicas subacuáticas, una prospección geofísica y sondeos (Martínez Alcalde, 2017b, p. 575 y 578). Para ello, a finales de 2017, se planificó una prospección arqueológica que combinaba una prospección geofísica y visual con la revisión de anomalías y la realización de sondeos subacuáticos. Su objetivo era valorar si en la zona afectada por el proyecto de regeneración de la Playa de la Isla pudiera haber otro pecio similar a los dos ya conocidos o de interés arqueológico (Juan*, 2018, p.2).

La prospección geofísica marina en la Playa de la Isla, realizada bajo la dirección arqueológica de Carlos de Juan, fue adjudicada por la CARM a la empresa consultora ARQUEOMAR. En diciembre de 2017 se realizó la campaña de adquisición de datos sonográficos y geofísicos, mediante sonar de barrido lateral, ecosonda paramétrica y magnetómetro. Tras el proceso de los datos se elaboraron los correspondientes mapas sonográficos, morfológicos y de gradiente magnético, perfiles sísmicos y una relación de las anomalías detectadas (ARQUEOMAR*, 2017). A falta de una futura verificación subacuática por los arqueólogos, en la valoración arqueológica de la prospección geofísica se señalaba que las anomalías sonográficas no parecían corresponder con ningún pecio de interés arqueológico, sino con formas geológicas o desechos de época contemporánea; entre las anomalías de origen ferromagnético destacaba el cerramiento de protección del pecio 2, junto con restos de fondeos y otros desechos de época contemporánea; los resultados del penetrador de fangos fueron los de mayor interés, dado que algunas de las anomalías podrían tener origen antrópico y se encontraban enterradas en las proximidades de los pecios 1 y 2 (Juan*, 2018, pp. 5-9).

Aprovechando la campaña geofísica se realizó una inmersión de reconocimiento de la zona litoral y para valorar el cerramiento de protección del pecio, cuyo estado general parecía bueno a pesar de haber sufrido la afección del medio marino (algunas tapas movidas por la acción del oleaje o fracturas en otras partes de la estructura). No se observó ninguna retirada de sedimentos (ni en la zona interior del cerramiento ni del fondo marino que rodea el cerramiento) que pudiese representar un riesgo para la preservación del pecio a corto o medio plazo (Juan*, 2018, pp. 9-11).

---

38 Los arqueólogos Ana Miñano y David Munuera.

39 La composición, las funciones de esa comisión, así como los principales acuerdos tomados, se explican en el apartado 3.4 de este artículo.

40 Algunos autores, como Carlos de Juan* (2018), se refieren a esta comisión como Comisión Asesora del Barco *Mazarrón 2*.

Posteriormente se llevó a cabo otra intervención para revisión arqueológica de las anomalías detectadas en el estudio geofísico previo, así como para la realización de catas de sondeos subacuáticos por medio de un muestreo representativo[41].

En junio de 2019, la CARM hizo pública la licitación[42] para la «Re-excavación arqueológica, desmontaje y extracción del pecio *Mazarrón 2*», por contrato de servicio de procedimiento abierto, que fue adjudicada a la empresa Archeonauta. Sin embargo, este proyecto suscitó bastante polémica y desacuerdos, por lo que su ejecución fue suspendida, como comentamos en el apartado 3.4 de este artículo. En su lugar, el MCD y la CARM acordaron colaborar en la realización de un estudio sobre el estado de conservación del pecio *Mazarrón 2* que se explica en el siguiente apartado.

2.1.7. Actuaciones de la CARM-MCD (2019-2023)

Desde el verano de 2019, la CARM y el MCD colaboran en las actuaciones llevadas a cabo en el pecio *Mazarrón 2*, tales como una diagnosis y medidas urgentes de estabilización o refuerzo de la estructura de protección, así como inspecciones de urgencia para valorar la afección de fenómenos meteorológicos adversos o inspecciones periódicas de monitorización del yacimiento.

La primera actuación conjunta fue el «Estudio de diagnosis de las interacciones de la caja de protección sobre el pecio de época fenicia *Mazarrón 2*», llevado a cabo entre el 19 de agosto y el 9 de septiembre de 2019 por la empresa Archeonauta, bajo la dirección científica del arqueólogo Carlos de Juan y con la presencia de dos técnicos de ARQVA, la arqueóloga Rocío Castillo y el químico Juan Luis Sierra. Se documentó el estado de conservación de la estructura de protección del pecio y se hicieron tres sondeos en su interior para valorar el estado de conservación del barco. Se constató la cohesión estructural de la embarcación, pero se advirtió del hundimiento parcial y el deterioro progresivo que ha sufrido la caja protectora, instalada en 1999, y se alertó del riesgo que podría sufrir en el futuro por la acción de los temporales (Juan*, 2019b; Negueruela, Sierra y Castillo*, 2019).

En el otoño de 2019 la Subsecretaría de Cultura y Deporte del MCD solicitó información y asesoramiento al Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM) del Ministerio de Defensa, en relación a las dinámicas del litoral de la costa de Mazarrón y su posible efecto en la conservación del pecio *Mazarrón 2*[43]. En octubre de ese año, el IHM realizó un informe de síntesis sobre la caracterización de la dinámica del litoral y la geomorfología de la costa de Mazarrón, complementado con información meteoclimática y oceanográfica (IHM*, 2019). En diciembre de 2019, aprovechando que el buque hidrográfico Malaspina del IHM estaba realizando una campaña hidrográfica en aguas costeras de la zona de Mazarrón, recibieron la orden de realizar un estudio batimétrico con multihaz en el entorno del pecio de *Mazarrón 2* en la Playa de la Isla de esa localidad. Las principales conclusiones de ese trabajo son las siguientes: la caja de protección del pecio se localiza aproximadamente a 1,5 m de profundidad y levanta sobre el fondo entre 0,3 y 0,4 m en la parte más alta; y existe una acumulación de sedimentos en la parte NE de la jaula, la más próxima a la playa, que no se observa en las caras SW y SE, abiertas al mar (Rusillo Díaz-Obregón*, 2019).

En septiembre de 2019 y enero de 2020, tras el paso de dos fenómenos meteorológicos adversos, Iván Negueruela, entonces director del Museo Nacional de Arqueología Subacuática, solicitó autorización al MCD para realizar sendas inspecciones de urgencia en el yacimiento con el objetivo de valorar la posible afección de los mismos sobre la estructura de protección del pecio *Mazarrón 2*. Por su parte, la Dirección General de Bienes Culturales de la CARM encargó a varios

41 En el Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática no se dispone de la memoria de esa actuación.

42 Orden de 21 de junio de 2019, *BORM*, 145, 26/06/2019.

43 Según correo electrónico, de 20/02/2020, de José Manuel Quijano de Benito, jefe de la Sección de Hidrografía del IHM, en contestación a Iván Negueruela. Expediente 12/1994/01. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

técnicos la realización de inspecciones con el mismo objetivo[44]. La DANA del 13 de septiembre de 2019 provocó inundaciones devastadoras y fuertes tempestades en el litoral de la Región de Murcia que hicieron saltar las alarmas por su posible afección negativa en el yacimiento. Sin embargo, en la inspección visual realizada por el químico Juan Luis Sierra del museo, el 17 de septiembre 2019 se constató que la estructura de protección del pecio se encontraba en el mismo estado documentado a principios de septiembre, antes del temporal, por lo que no se había visto afectada por el mismo (Sierra*, 2019).

Igualmente, tras el paso de la borrasca Gloria que devastó el litoral mediterráneo español, la arqueóloga Rocío Castillo y el químico Juan Luis Sierra del museo realizaron una inspección en el yacimiento el 24 de enero de 2020. En general la estructura de protección se encontraba en condiciones similares a las de finales del verano de 2019, aunque, como es habitual, algunos sacos de grava y arena se habían abierto por la acción del mar. La única alteración significativa documentada fue el desplazamiento de una de las 72 tapas de cierre de la estructura de protección, aunque no se pudo determinar si se debía a una acción humana o era efecto de los temporales. En consecuencia quedaba al descubierto un m^2 de la malla metálica que cubre el túmulo de protección del pecio en una zona exterior al maderamen, por lo que se propuso la inmediata reposición y fijación de la tapa desplazada en su ubicación original (Castillo y Sierra*, 2020).

Por su parte, los técnicos contratados por la CARM, bajo la dirección del arqueólogo Carlos de Juan, hicieron una inspección en el yacimiento el 29 de enero de 2020, revisando la estructura de protección del pecio y realizando un registro por fotogrametría para generar una ortofoto y un modelo tridimensional, así como una nueva topografía de la caja y una batimetría de sus aledaños. Comprobaron que la orografía costera de la Playa de la Isla, resguardada de los vientos de norte y este, había contenido los últimos episodios de mal tiempo más destacados (DANA y Gloria). Sin embargo, observaron una retirada de sedimentos a barlovento y en las esquinas de la estructura, así como movimientos de gravas procedentes de sacos ya roídos por el paso del tiempo. Igualmente, documentaron la desaparición de una tapadera aflorando un estrato de grava lavada y la reja corroída. La comparativa entre la batimetría de agosto de 2019 y febrero de 2020 apuntaba a una retirada de arenas del entorno de la caja y a un hundimiento de la estructura «caja fuerte» de 1 cm en los vértices NW y SE y de hasta 7 cm en otro punto. Por ello se propuso la adopción de medidas urgentes (Juan*, 2020a).

En marzo de 2020, debido al hundimiento parcial de la estructura de protección constatado desde 2019, la CARM y el MCD-ARQVA decidieron que era necesario acometer una serie de medidas urgentes para la estabilización de la estructura de protección del pecio *Mazarrón 2*. La pandemia de la COVID-19 hizo que la ejecución de estos estos trabajos se retrasase casi tres meses. En junio de 2020 la empresa contratada por la CARM (Archeonauta), bajo la dirección científica de Carlos de Juan y en colaboración con el Taller de Imagen de la Universidad de Alicante, llevó a cabo una actuación de estabilización del cerramiento de la estructura de protección: se retiraron 8 de los 11 travesaños, para aligerar el peso de la estructura sobre el pecio; se reforzó el perímetro de la caja fuerte mediante la instalación de 300 sacos de grava de 25 kg, principalmente en el frente sur de la caja (creando una barrera tipo parapeto), así como en el frente norte y bajo las esquinas más afectadas (NW y SW); se colocaron 150 sacos de 25 kg de arena de sílice sobre las tapaderas para evitar que el mar las levantase; se instalaron, de forma experimental, una malla tridimensional de plástico sobre toda la superficie de la caja fuerte, para intentar favorecer la sedimentación de arenas sobre las tapas, y tres módulos de barreras del tipo Jersey, de plástico y rellenas de arena, a unos 10-15 m del extremo SW de la caja. Así mismo, en junio de 2020, realizaron un nuevo

[44] En el Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática solo se cuenta con el informe de la inspección encargada por la CARM en enero de 2020, tras la borrasca Gloria, pero no se dispone del informe de la inspección realizada tras la DANA de septiembre de 2019.

levantamiento batimétrico de la estructura de protección y de su entorno (Juan*, 2020b). La arqueóloga y el químico del Museo ARQVA participaron puntualmente dos días, como observadores y colaboradores en la última jornada, colocando un ánodo de sacrificio y ayudando al montaje e instalación de la malla tridimensional (Sierra y Castillo*, 2020). Finalmente, cuando las condiciones de luz solar fueron favorables (el 8 de septiembre de 2020) se pudo hacer una cobertura fotogramétrica cenital que documentó los trabajos de estabilización llevados a cabo hasta ese momento (Juan*, 2020b, pp. 14-15).

En el último trimestre de 2020, la Dirección General de Bienes Culturales de la CARM promovió dos inspecciones periódicas a las que no pudieron asistir los técnicos del Museo por distintos motivos[45] (Castillo*, 2021a). El objetivo de estas actuaciones era comprobar cómo evolucionaba en el tiempo tanto la estructura que protege al pecio *Mazarrón 2* como los movimientos de las arenas en su entorno. En noviembre de 2020, tras unos días de mala mar, se realizó una inspección visual del estado del cerramiento del pecio y un nuevo levantamiento topográfico y batimétrico. El 19 de diciembre de 2020 hicieron una última visita periódica al yacimiento que incluyó una inspección visual, un levantamiento topográfico y batimétrico (el quinto de la serie) y una nueva documentación fotogramétrica de la estructura de protección (Juan*, 2020d). En ambas inspecciones se pudo comprobar que el parapeto de sacos de grava instalados había funcionado muy bien, mientras que los otros elementos habían sufrido los efectos del oleaje: parte de la malla había sido arrancada y enrollada en algunos puntos, no cumpliendo su función de favorecer la sedimentación sobre la caja; y dos de las barreras tipo Jersey se habían caído (Juan*, 2020c y 2020d).

Desde 2019, las intervenciones arqueológicas emprendidas por la CARM en colaboración con el museo ARQVA (el estudio de diagnosis de 2019 y la estabilización del cerramiento de protección realizado en 2020, así como las inspecciones visuales periódicas o las realizadas tras algún fenómeno meteorológico adverso) arrojan indicios del deterioro y hundimiento progresivo de la estructura de protección del pecio, afectada negativamente por unos procesos erosivos cada vez más activos, por lo que ya no realiza la función para la que fue diseñada y no puede asegurar la preservación in situ del barco. Además, los técnicos participantes en las citadas actuaciones, tanto los contratados por la CARM como el personal del Museo ARQVA, coinciden en señalar que los refuerzos para la estabilización de la estructura son una solución temporal (Juan* 2020a y 2020b; Sierra y Castillo*, 2020). Por todo ello, y para evitar un daño irreparable, en marzo de 2021 el MCD y la CARM acordaron la extracción del pecio *Mazarrón 2* y su posterior tratamiento en ARQVA, como comentamos en el apartado 3.5 de este artículo. Así mismo decidieron que, mientras tanto, se deberían seguir haciendo inspecciones de monitorización del yacimiento, periódicamente cada 3-4 meses o después de los temporales. Esas inspecciones debían incluir una revisión visual del yacimiento, documentación gráfica, una topografía y batimetría de detalle de la propia estructura de protección y su entorno inmediato (en más de 100 puntos), y una o dos coberturas fotogramétricas de la estructura de protección del pecio cada año. La CARM siguió contratando estos trabajos y el MCD colaborando con los técnicos del Museo ARQVA.

Durante el segundo semestre de 2021, la CARM promovió varias actuaciones de monitorización del pecio y su entorno, bajo la dirección científica de Carlos de Juan, en las que también participaron la arqueóloga Rocío Castillo y la conservadora-restauradora Milagros Buendía de ARQVA. El 15 de julio de 2021 se constató que el yacimiento parecía estar estable, aunque algunos elementos de su estructura de protección estaban dañados (oxidación progresiva de chapas y algunas fracturas) y otros habían desaparecido (la malla tridimensional y algunas bolsas de arena), por lo que se propuso reponerlos (Castillo*, 2021a; Juan*, 2021a). El 20 de septiembre de 2021 se

[45] Bien porque la CARM no avisó al MCD ni a los técnicos del museo o bien porque avisaron al MCD con tan poca antelación que no pudieron tramitar su desplazamiento.

observaron algunas alteraciones de posible origen antrópico —algunos sacos de grava y varias tapas de cierre habían sido desplazadas de su posición original, aparentemente de forma intencionada y dejando al descubierto la malla que cierra el pecio—, junto con otras seguramente ocasionadas por la acción del mar —rotura y desaparición de muchas de las bolsas de arena— (Castillo y Buendía*, 2021; Juan*, 2021a). Además, en julio y en septiembre se hicieron dos batimetrías (la 6ª y 7ª de la serie) y en octubre la primera fotogrametría de esa anualidad con su correspondiente ortofotografía (Juan*, 2021a). El 10 y el 22 de diciembre de 2021 se realizaron las dos últimas inspecciones de esa anualidad, que incluyeron un reconocimiento visual, dos batimetrías (la 8ª y 9ª de la serie) y la segunda fotogrametría anual (Juan*, 2021b; Castillo y Buendía*, 2021; Castillo*, 2021b). A finales de diciembre, dado el estado óptimo de la mar, los datos topográficos tomados fueron de gran fiabilidad y constataron una importante novedad, que la estructura de protección se había estabilizado o frenado de manera importante su hundimiento, aunque en su entorno se seguía documentando un desplazamiento de arenas finas de la zona sur hacia la zona norte (Juan*, 2021b, pp. 5-8). Así mismo, en esa última visita, se llevaron a cabo las medidas urgentes propuestas por ambos equipos y autorizadas por la CARM: tapar las mallas visibles, recolocar las tapas desplazadas en su posición original y fijarlas con sacos de grava, a la espera de tomar medidas más definitivas (Juan*, 2021b; Castillo*, 2021b).

En 2022 se hicieron cuatro inspecciones periódicas promovidas por la CARM[46] y con la presencia de técnicos del museo. El 3 de marzo de 2022, los técnicos contratados por la CARM intentaron hacer un levantamiento fotogramétrico de la estructura de protección del pecio, aunque la luz no era la más adecuada, y tomaron las coordenadas de 120 puntos subacuáticos para actualizar la batimetría. Por su parte, la arqueóloga del museo documentó que el pecio se mantenía aparentemente bastante estable y sin variaciones significativas desde diciembre de 2021, puesto que los refuerzos provisionales instalados entonces continuaban en su emplazamiento y además se había producido un ligero aumento de la sedimentación sobre las tapas centrales y un incremento de la vegetación en la estructura y en su entorno. Todo ello debido a la ausencia de fuertes temporales durante el invierno, lo que había favorecido la estabilidad del yacimiento (Castillo*, 2022). El 14 de mayo de 2022, los técnicos contratados por la CARM realizaron un registro topográfico-batimétrico del pecio y su entorno, junto con la inspección visual. Por su parte, el químico del museo documentó que la estructura de protección y su entorno se mostraban bastante estables, como acreditaba el fuerte crecimiento biológico observado, así como la acumulación de sedimentos finos sobre las tapas de cierre de la estructura de protección; asimismo, constató que la intensa corrosión superficial del ánodo de sacrificio de zinc «induce polarización catódica al bastidor de acero al carbono, favoreciendo su conservación» (Sierra*, 2022, p. 3). El 30 de septiembre de 2021, los técnicos contratados por la CARM realizaron un registro topográfico-batimétrico del pecio y su entorno, junto con la inspección visual. Por su parte, la arqueóloga y la conservadora-restauradora del museo documentaron modificaciones de origen medioambiental (desaparición de los sedimentos finos y medianos acumulados hasta mayo de 2022, dispersión sobre las tapas de una extensa capa de grava procedente de los sacos rotos por la acción de la mar) y otras de origen antrópico (traslado intencionado de una tapa al exterior de la estructura de protección), quedando en algunos puntos visible la malla plástica (Castillo y Buendía*, 2022a). El 20 de diciembre de 2022, tras varios episodios de mala mar, se hizo la última inspección de esa anualidad. Los técnicos contratados por la CARM realizaron la habitual inspección visual, un registro topográfico-batimétrico del pecio y su entorno. Por su parte, la arqueóloga y la conservadora-restauradora del museo documentaron el estado de la estructura de protección e hicieron un premuestreo de agua y sedimento en el pecio y en la zona del Gachero. Así mismo, ambos equipos acometieron el refuerzo puntual de algunas zonas de la estructura de protección (Castillo y Buendía*, 2022b).

[46] Los informes realizados por el técnico contratado por la CARM no están disponibles en el Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

Por último, en junio de 2023 se ha llevado a cabo el «Proyecto de actualización de la documentación arqueológica del pecio de época fenicia *Mazarrón 2* (Murcia)», que se comenta en el apartado 4.3 de este artículo y es objeto de un artículo de Carlos de Juan en esta misma monografía.

2.2. Estudios específicos

En este apartado recogemos aspectos concretos vinculados a *Mazarrón 2,* como la dinámica litoral, los materiales recuperados y su conservación, las analíticas, el estudio de estos mismos materiales o el sistema de construcción naval que permiten ampliar el conocimiento del barco más allá de las actuaciones arqueológicas desarrolladas desde los años noventa del siglo xx hasta la actualidad.

2.2.1. Dinámica litoral

Desde 1991 Cabrera, Pinedo, Roldán, Barba y Perera describen en sus publicaciones el seguimiento de las condiciones de conservación del yacimiento (1991, pp. 150-151). En 1993, Barba, Negueruela, Perera, Pinedo y Roldán (1999, p. 197) informan de la realización de estudios batimétricos[47] de la rada de la Playa de la Isla, tomando como base el levantamiento batimétrico efectuada por Demarcación de Costas (MOPT) en abril de 1993, para comprobar los procesos de erosión y otros mecanismos de dinámica geomorfológica que hubieran podido afectar al yacimiento (Negueruela, 1995, p. 9). En años sucesivos, Negueruela y su equipo afirman que la dinámica litoral se ha visto fuertemente alterada por la construcción del cercano puerto deportivo, lo que había motivado la desaparición de la Playa de la Isla y su traslado por la acción de las corrientes y el oleaje a una zona próxima conocida como «el Gachero», desenterrando restos arqueológicos (Negueruela, Pinedo, Gómez *et al*., 1995, p. 189; Negueruela, Pinedo, Gómez *et al*., 2000, p. 1671; Negueruela, 2000b, pp.182-184; Negueruela, 2004, p. 230; Negueruela, Moya, Marín *et al*., 2004, pp. 274-275; Negueruela, González, San Claudio *et al*., 2004, p. 456).

Sin embargo, otros trabajos específicos, como los estudios de sedimentología del CSIC (Dabrio y Polo, 1981, p. 234; Dabrio, 2010, p. 471) y el informe técnico del CEDEX* (2016), documentan la inestabilidad del entorno marino de esa playa en las últimas décadas debido a dos factores, la acumulación de restos del procesado de minería, Gachero, y la construcción del puerto deportivo, situados respectivamente a ambos lados de la bahía, lo que originó la práctica desaparición de arena de esta playa. A estas publicaciones se añade un informe actualizado de 2021 que indica que a partir de 2010 la dinámica litoral cambió completamente:

> «Esto significa que, cuando se instaló la caja protectora en el año 1998-2000 la flecha estaba creciendo activamente e iba cerrando cada vez más la parte este de la bahía y, de algún modo, resguardando el pecio y las obras de protección. Por eso, cuando se instaló la caja, la energía del oleaje aparente en el sitio del pecio debía ser más baja que en condiciones de exposición total a los temporales y, en principio, los técnicos debieron quedar satisfechos con el trabajo y el resultado de la actuación preservadora. No obstante, la situación cambió completamente a partir de 2010 y ahora empiezan a apreciarse los efectos de un incremento de la energía en el fondo que mueve mucha más arena y descalza la estructura metálica. Y el problema se agudizará en el futuro, según la arena vaya desplazándose y la caja asentándose y aplastando el pecio» (Dabrio y Polo, 2021, p. 2).

Este último informe fue presentado en 2021 al Grupo de Trabajo para la conservación y protección del pecio *Mazarrón 2*, promovido[48] por el MCD junto con la CARM. Además, durante las inspecciones periódicas[49] de monitorización del yacimiento, señaladas en el apartado 2.1.7 de

47 En el Archivo del museo no hemos localizado copia de tales estudios batimétricos.

48 Este grupo de trabajo fue creado por Resolución de 23 de diciembre de 2020 de la Dirección General de Bellas Artes del MCD.

49 Realizadas por el personal contratado por la CARM y los técnicos del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

este artículo, los datos batimétricos recogidos desde agosto de 2019 constatan el hundimiento de la estructura de protección del pecio (de Juan*, 2021, pp. 6-8). Todo ello hizo que, en marzo de 2021, el MCD y la CARM acordaran la extracción del barco *Mazarrón 2* (Ministerio de Cultura*, 2021; Castillo, Pérez y Buendía, 2022, p. 4).

La problemática de la dinámica litoral en el entorno de la Playa de la Isla de Mazarrón también ha sido estudiada por José Manuel de la Peña Olivas, quien presentó una ponencia sobre ese tema en la RIE de 2022. Por ello, remitimos a su artículo incluido en esta misma publicación.

2.2.2. Materiales y su conservación

En 1995 se emplea por primera vez el término conservación preventiva aplicado a un proyecto de recuperación de los materiales en los trabajos de prospección, extracción y conservación del barco *Mazarrón 1*, realizado por un conservador-restaurador (Marín y Zambrano, 1995). Zambrano pone de manifiesto la importancia de la planificación del trabajo de conservación desde antes del comienzo de la intervención arqueológica, la previsión de recursos humanos, materiales, espacios de trabajo y orden en la consecución de trabajos. La conservación antes, durante y después de la intervención arqueológica es una norma que establece la Convención Unesco 2001, y ha sido uno de los ejes básicos de articulación de la RIE en 2022. Este principio fundamental ya había sido expuesto como prescriptivo e implementado por las primeras conservadoras-restauradoras que trabajaron en el museo, María Sanz (1980, pp. 137 y 138) y Carmen Pérez de Andrés (1993, p. 114; 2003, p. 85). Esta última, entre 1987 y 1991, se hizo cargo del proyecto del laboratorio de conservación de maderas anegadas, así como del diseño del prototipo de liofilizador, en coordinación con el ICRBC[50].

En el año 2000 aparece por primera vez una relación de los materiales documentados en el sondeo realizado, en 1994, en la zona central del barco *Mazarrón 2* (Negueruela, Pinedo, Gómez *et al*., 2000, p. 1674). Posteriormente, en 2004, se describen los materiales documentados y extraídos en la excavación del año 2000 (Negueruela, 2004, p. 234). Finalmente, en la memoria de la actuación de 2008 está incluido el inventario de los materiales recuperados (Miñano, Fernández, Castillo *et al*.*, 2011, Anexo 3). A continuación se relacionan los materiales extraídos en cada campaña según su naturaleza (Tabla 1).

En el año 2000, las conservadoras-restauradoras Eva Mendiola y Belén Fernández se hicieron cargo de los trabajos de extracción y conservación de los materiales del barco *Mazarrón 2*, como ayudantes del químico Juan Luis Sierra. Todos los materiales extraídos del barco *Mazarrón 2* fueron tratados atendiendo a su naturaleza y procedencia. Tras su ingreso en el museo fueron inventariados y documentados fotográficamente. A continuación, se procedió a la eliminación de sales solubles, tanto para los materiales orgánicos como inorgánicos, antes de intervenir cada pieza de forma individualizada[51]. Posteriormente, los trabajos de conservación continuaron en el año 2003 y de 2006 a 2008, con motivo del proyecto museográfico para el nuevo museo, el ánfora, el molino de mano, los fragmentos óseos y dos de los lingotes de plomo fueron tratados nuevamente por el equipo formado por las conservadoras-restauradoras Milagros Buendía, Beatriz Blas, Ruth Ors, Cristina Gómez, Ana Carcelén, Izaskun Martínez y Leonor de la Colina[52], como se refleja en las correspondientes fichas de tratamiento conservadas en el Archivo del Museo y volcadas en Domus, el Sistema Integrado de Documentación y Gestión Museográfica desarrollado por el MCD y utilizado actualmente por 193 museos.

---

50 Según queda recogido en la extensa y minuciosa documentación de correspondencia que Carmen Pérez mantuvo con los centros de conservación internacionales especializados, presupuestos de dotación del laboratorio y del prototipo de liofilizador. Para más información véase el artículo de ARQVAtec de Soledad Pérez y Milagros Buendía, incluido en esta misma publicación.

51 Según consta en las memorias justificativas de los contratos de Eva Mendiola y Belén Fernández. Expediente 12/1994/01. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

52 Los informes de conservación se pueden consultar en Domus y en el Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática. Expediente 12/1994/01.

Tabla 1
Materiales extraídos del barco *Mazarrón 2*

Material metálico	
2000	1797 Lingotes de mineral de plomo
2008	8 fragmentos de lingote de plomo
Material cerámico	
2000	52 fragmentos de un ánfora Borde y asa de otra ánfora
2008	11 fragmentos de cerámica
Material lítico	
2000	Base y rulo de un molino de mano de granito
Material orgánico	
2000	Fragmentos óseos 13 cajas de abarrote 50 cabos de diferente grosor, completos y fragmentados Vara de madera con restos de cabo Cesto de esparto con asa de madera[53] Asa de madera Dos elementos de un ancla de madera Estacha 124 piezas de madera, completas o fragmentos, de tracas, cuadernas, pasadores, lengüetas, tapa de regala y 3 baos
2008	25 piezas de madera, completas y fragmentos, de tracas, cuadernas, pasadores, lengüetas, puntal, codaste.

Fuente: elaboración propia.

El cargamento principal está compuesto por 1797 lingotes de mineral de plomo (Inv. MZ-2000-B2-1 al 1797). En el año 2000 se eliminaron las sales solubles mediante sucesivos baños de agua y limpieza mecánica de los más significativos[54]. En ese momento quedaron almacenados en cajas de fruta, ranuradas y muy profundas, hacinados y de difícil acceso. Es por ello por lo que en 2003 se procedió a una reorganización, trasladándose el cargamento a 97 cajas normalizadas, con una profundidad menor, en las que se disponían por orden correlativo de número de inventario, en uno o dos estratos, si estos eran pequeños. De esa manera el cargamento ya no queda hacinado sino colocado de forma que se permite su fácil localización, acceso y se evita que puedan dañarse por el contacto entre ellos (Buendía*, 2003a y 2003b). En 2008[55] se hizo una limpieza mecánica en seco de los dos lingotes (Inv. MZ-2000-B2-469 y MZ-2000-B2-1248) seleccionados para formar parte de la exposición permanente del nuevo museo. Los 8 fragmentos de lingote de plomo (Inv.: MZ-2008-sup-006, MZ-2008-sup-007, MZ-2008-sup-008, MZ-2008-sup-009, MZ-2008-sup-011.1, MZ-2008-sup-011.2, MZ-2008-sup-015, MZ-2008-sup-016) recuperados en la intervención arqueológica de 2007-2008 fueron desalados y se les realizó una limpieza mecánica puntual.

El ánfora (Inv. MZ-2000-B2-1973) es intervenida dos veces, en el año 2000[56] y en 2006. En la primera ocasión se eliminan las sales solubles, secado, limpieza mecánica, se adhieren los 52

53 2004, p. 4.

54 Ficha de tratamiento. Pieza Inv. MZ-2000-B2-469 de 15 de octubre de 2001 y MZ-2000-B2-1248 de 15 de enero de 2001. Belén Fernández. Expediente 12/1994/01. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

55 Ficha de tratamiento. Pieza Inv. MZ-2000-B2-469 y MZ-2000-B2-1248 de 8 de mayo de 2008. Beatriz Blas, Milagros Buendía, Ruth Ors, Cristina Gómez, Ana Carcelén. Expediente 12/1994/01. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

56 Ficha de tratamiento. Pieza Inv. MZ-2000-B2-1873 de 28 de julio de 2000. Isabel García y Belén Fernández. Expediente 12/1994/01. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

fragmentos y se reintegra volumétrica y cromáticamente (García Galán, 2003, p. 343). Tras esta intervención pasa a formar parte de la exposición permanente del museo. En 2006[57] es revisada y tratada nuevamente debido a los problemas que la adhesión de los fragmentos de la base presentaba. Posteriormente, en la excavación arqueológica de 2008 y bajo el cabo adujado, aparecen otros dos fragmentos de esa ánfora que son desalados y objeto de una limpieza mecánica puntual, y que se reintegrarán en el momento que el ánfora necesite ser tratada en un futuro.

El molino de mano (Inv. MZ-00-V-111) está compuesto por muela y maja (Marín*, 2002)[58]. En el año 2000[59] se realizó un primer tratamiento que consistió en la eliminación de sales solubles, una limpieza mecánica en húmedo con jabón neutro, posterior neutralización y secado. En 2007[60] se llevó a cabo una limpieza mecánica por aspiración.

Los fragmentos óseos (Inv. MZ-2000-B2-1800)[61] también han sido intervenidos dos veces. En el año 2000[62], tras la desalación, «se limpiaron e hidrataron» en disolución de *white spirit* y *desogen*, neutralizadas y consolidadas, posteriormente, con resina acrílica. Su secado se realizó de forma controlada para acabar con la adhesión de los fragmentos con adhesivo nitrocelulósico. En 2007[63] fueron sometidos a una limpieza mecánica superficial.

Todo el material orgánico[64] de las dos intervenciones arqueológicas sobre el barco (1999-2001 y 2007-2008), 149 piezas[65], completas y fragmentos de tracas, cuadernas, pasadores, lengüetas, tapa de regala, 3 baos, parte de un ancla de madera, un asa de madera y una vara de madera con restos de cabo, 13 cajas de abarrote y cabos[66], ha sido tratado en varias etapas.

Entre los años 2000-2003 esos materiales fueron desalados y posteriormente consolidados mediante impregnación con distintas soluciones de PEG, en el caso de la madera y el abarrote, y con sustancias celulósicas en el caso de los cabos, impregnación con PEG 4000 al 2 %. Tras la consolidación se procedió al secado por liofilización (Mendiola*, 2000, pp. 2-4; Sierra, 2001, p. 220; Sierra, 2005, pp. 65-67; Sierra, 2009, p. 64). Estos trabajos fueron realizados por el químico Juan Luis Sierra[67] y por las conservadoras-restauradoras Eva Mendiola y Belén Fernández (Mendiola*, 2000 y Fernández*, 2000).

---

57 Ficha de tratamiento. Pieza Inv. MZ-2000-B2-1873 de 21 de abril de 2006. Izaskun Martínez, Beatriz Blas, Milagros Buendía, Ruth Ors, Cristina Gómez. Expediente 12/1994/01. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

58 En el informe de Marín se citan dos números de inventario distintos para cada una de las piezas del molino: molino (Inv. MZ-2000-B2-111) y maja (Inv. MZ-2000-B2-225).

59 Ficha de tratamiento. Pieza Inv. MZ-2000-B2-111 y MZ-2000-B2-225 de 21 de febrero de 2000. Isabel García y Belén Fernández. Expediente 12/1994/01. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

60 Ficha de tratamiento. Pieza Inv. MZ-00-V-111 de 6 de octubre de 2007. Beatriz Blas, Milagros Buendía, Ruth Ors, Cristina Gómez, Ana Carcelén. Expediente 12/1994/01. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

61 Durante la excavación a cada uno de los fragmentos óseos se le asignó un número de inventario diferente (Marín, 2002, nota 59).

62 Ficha de tratamiento. Pieza Inv. MZ-2000-B2-1800 a 1808 de 14 de abril de 2000. Belén Fernández. Expediente 12/1994/01. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

63 Ficha de tratamiento. Pieza Inv. MZ-2000-B2-1800 de 9 de noviembre de 2006. Izaskun Martínez, Beatriz Blas, Milagros Buendía, Ruth Ors, Cristina Gómez. Expediente 12/1994/01. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

64 El tratamiento de los materiales orgánicos de los barcos *Mazarrón 1* y *Mazarrón 2* se lleva a cabo bajo la responsabilidad del químico Juan Luis Sierra (Negueruela, 2005b, p. 15). En el Archivo del museo no hemos localizado las fichas de tratamiento de dichos materiales, ni la documentación gráfica correspondiente. Por esta razón el equipo organizador de la RIE, el museo ARQVA y la SGGCBC, le invitaron a presentar una conferencia en la RIE junto al conservador-restaurador Luis Carlos Zambrano para explicar el tratamiento aplicado al Mazarrón 1, aunque Juan Luis Sierra declinó su participación.

65 En la campaña de 1999-2000 se extrajeron 124 piezas y en 2008, 25.

66 En la campaña de 1999-2000 se extrajeron 50 cabos o fragmentos de cabo, y en 2008, un cabo adujado y un fragmento de cabo.

67 Al no disponer en el Archivo del museo tanto la documentación textual como gráfica de los informes de conservación de cada una de las maderas y cabos de *Mazarrón 2* tratadas por Juan Luis Sierra no hemos podido realizar el volcado de dicha información en Domus, como sí se hizo con las más de 1000 piezas pertenecientes no solo a *Mazarrón 2,* sino también a más yacimientos, para formar parte de la exposición permanente del museo, en el marco del Programa de Conservación coordinado por Milagros Buendía, véase Pérez y Buendía, 2022.

Entre 2003 y 2006, la conservadora-restauradora Milagros Buendía se hizo cargo de la documentación, el control de los baños de desalación e impregnación del material orgánico, así como la eliminación del exceso de PEG del abarrote o la unión del asa fragmentada, ambos ya liofilizados (Buendía*, 2003a; 2003c; 2004a; 2004b; 2005a; 2005b; 2005c; 2005d; 2006a y 2006b).

A partir de 2006, el químico Juan Luis Sierra retoma la conservación de la madera y las fibras vegetales. Después de la documentación inicial de las piezas, el establecimiento del grado de alteración de las maderas anegadas y la eliminación de sales solubles, comienza el tratamiento de consolidación «[…] disolución al 5 % en PEG 400. Paulatinamente las disoluciones se van aumentando en un 5 % más en cada cambio. Se finaliza el tratamiento de la consolidación, cuando se alcanza un 40 % en PEG 4000». Posteriormente, las maderas ya consolidadas se desecan por liofilización (Sierra*, 2010)[68].

Todo el material orgánico cuyo tratamiento ha finalizado se encuentra en la exposición permanente del museo o en el almacén de orgánicos[69]. Y el resto de piezas de cuyo tratamiento está por finalizar se encuentran en el laboratorio de conservación-restauración del museo, ARQVAtec.

El asa de madera (Inv. MZ-2000-B2-1832), extraída en la excavación del año 2000, ha sido tratada en varios momentos. Tras la eliminación de sales solubles, no se realizan análisis del estado de degradación «ya que son destructivos y la gran importancia de la pieza no permite una fragmentación, aunque por similitud con las maderas del barco fenicio podemos suponer que se trata de una madera muy degradada, muy blanda, al simple tacto se puede apreciar que hay que manipularla con sumo cuidado» (Sierra, 2005, p. 61). A continuación se procede a su consolidación parcial con PEG y liofilización en 2001 (Sierra, 2003, pp. 261-262; Sierra, 2005, pp. 61-67). Posteriormente el asa se fragmentó, por lo que se volvió a intervenir en 2003 (Buendía*, 2003a). La propuesta de adhesión fue mecánica con el apoyo de un soporte externo que impedía la manipulación directa de un material extremadamente frágil y mantenía perfectamente unidos los fragmentos (Buendía*, 2004a). En 2008 el soporte fue rediseñado para la presentación de la pieza en la exposición permanente del museo, en la vitrina de «Los fenicios».

Los cincuenta cabos recuperados en la excavación del año 2000, tras finalizar la eliminación de sales solubles, fueron consolidados parcialmente con PEG y liofilizados en 2001 (Sierra, 2003, pp. 261-262; Sierra, 2005, pp. 61-67). Posteriormente, en la intervención arqueológica de 2008 se recuperó un cabo adujado con otro más fino (Inv. MZ-2008-SUP-019)[70]. Debido a la extrema fragilidad de este tipo de materiales, se utilizó la misma metodología que el conservador-restaurador Luis Carlos Zambrano[71] empleó en la extracción de los restos del barco *Mazarrón 1* (Zambrano, 1995; 2003, pp. 360-361), usando una primera capa de silicona[72] sobre la que se aplicó una segunda estructura de protección realizada con cordones de resina de poliéster. Estos mismos materiales ya

---

68 En la RIE Juan Luis Sierra reitera que el único tratamiento de conservación de madera anegada con el que ha trabajado en el museo sobre el Mazarrón 1 es la impregnación parcial con PEG 4000 y posterior liofilización. Por ello propone su empleo en el *Mazarrón 2* y cuestiona el uso del PEG 2000, con el que ha trabajado Kristiane Straetkvern, por considerar que la madera se volvería higroscópica (Pérez, Buendía y Castillo, 2022*, pp. 14-15).

69 No se tiene constancia de los tratamientos de conservación-restauración realizados a cada una de las piezas (desalación, impregnación parcial con PEG y liofilización, peso molecular del PEG empleado, liofilización, seguimiento del tratamiento aplicado, etc.) al no disponer de los informes de conservación individualizados ni de la documentación gráfica asociada en el Archivo del museo.

70 Para esa recuperación contamos con la participación y asesoramiento de Luis Carlos Zambrano. Finalmente, por motivos de calendario, la extracción del cabo del *Mazarrón 2* fue realizada de forma conjunta por Milagros Buendía y Juan Luis Sierra.

71 Su investigación sobre el uso de elastómero para la extracción de materiales fragilizados comenzó con el *Mazarrón 1* (1995), cuyos resultados se reflejaron en diversas publicaciones y en su tesis doctoral (2016).

72 Luis Carlos Zambrano patenta en 1995 un procedimiento de aplicación de elastómero de silicona RTV en combinación con resina de poliéster específico para la extracción de objetos fragilizados del medio subacuático (Zambrano, 1995 y 2003).
En 2008 se utilizó la silicona Silical 110 plasmable con el endurecedor 115 de secado lento. Antes de la extracción del cabo adujado se hicieron pruebas bajo el agua sobre otros materiales que no pertenecían al barco con esta silicona y los dos endurecedores disponibles, 115 y 116, de secados lento y rápido respectivamente, ambos de la empresa de productos de conservación CTS.

se emplearon en el *Mazarrón 1*, aunque con diferencias en marcas y procedimiento de aplicación[73] (Gómez-Gil y Sierra, 1996, pp. 220-221). Una vez separado el cabo del interior del barco, con la ayuda de una lámina de acetato, se volteó cuidadosamente y se depositó en el interior de una caja de plástico con sedimento en la que se trasladó inmovilizado, húmedo a saturación y protegido de la luz. Posteriormente el cabo se trató utilizando la técnica de la plastinación[74] (Miñano, Fernández, Castillo *et al.**, 2011, pp. 22, 60-62, figs. 34 y 36).

2.2.3. Analíticas

En este apartado recogemos las diferentes analíticas realizadas a los bienes culturales que formaban parte del barco, el cargamento y la vida a bordo del pecio *Mazarrón 2,* partiendo de la documentación conservada en el Archivo del museo y que detallamos a continuación, ordenadas por tipos de materiales:

En el año 1994 se toman cinco muestras, dos de posidonia, una de abarrote y otras dos de madera, que se envían a la Universidad de Groningen para ser analizadas por C-14 y así determinar la cronología del pecio (Negueruela, Pinedo, Goméz *et al.,* 2000, p. 1674; Negueruela, 2004, pp. 229, 237-238; Negueruela, González, San Claudio *et al.,* 2004, p. 455; Negueruela, 2005a, p. 25). Los resultados se dan a conocer en el año 2000, cuando Negueruela publica que arrojaron una cronología que oscila entre 2760 ± 30 B.P. y 2490 ± 30 B.P. Sin embargo, señala que «cabe destacar la cronología obtenida del abarrote […] cuya fecha calibrada oscila entre el 832-441 B.C., pues se trata de un elemento cortado en el momento de la estiba del barco, que aun siendo significativamente amplia enmarca unos márgenes cronológicos acordes con el material cerámico» (Negueruela, Pinedo, Gómez *et al*, 2000, p. 1674).

En otra publicación del año 2004 señala que las muestras fueron fechadas entre el 760 y el 490 a. C. (Negueruela, 2004, p. 229). Además, ofrece una información más detallada de estos análisis y sus resultados (Tabla 2).

Tabla 2
Relación de muestras de posidonia y madera analizadas y su cronología

GR-N20701	Mazarrón BZ 1	2760 ± 30 BP	–13,69
GR-N20702	Mazarrón BZ 2	2715 ± 35 BP	–16,15
GR-N20703	Mazarrón BZ 3	2560 ± 30 BP	–26,48
GR-N20704	Mazarrón BZ 4	2570 ± 70 BP	–25,86
GR-N20705	Mazarrón BZ 5	2490 ± 30 BP	–25,56

Fuente: Negueruela, 2004, p. 238.

Esas muestras corresponden a los dos niveles del sello de posidonia (Mazarrón BZ 1 y BZ 2), al casco[75] (Mazarrón BZ 3), al abarrote (Mazarrón BZ 4) y a una traca (Mazarrón BZ 5). Los resultados de las muestras de posidonia (Mazarrón BZ 1 y BZ 2) ofrecen una datación contraria a la que se esperaba, siglo VIII, frente a las del barco que son del siglo VII. Respecto a las muestras de madera y abarrote (Mazarrón BZ 3-BZ5), Van der Plicht[76] señala: «For samples (GrN 20703- GrN 20705) the

73 Silicona Silastic 3481 de Dow Corning©, 3 % agente tixotrópico, 5 % catalizador y cama rígida de poliéster cargado a saturación con polvo de sílice, y 4 % v/v catalizador.

74 El cabo (Inv. MZ-2008-SUP-019) fue plastinado por Juan Luis Sierra, aunque no se dispone del informe de conservación ni de la documentación gráfica asociada en el Archivo del Museo.

75 Para la toma de la muestra BZ3 se realizó un agujero rectangular en el costado de estribor del casco (Negueruela, 2004, p. 238 y p. 268, fig. 12). Véanse las dimensiones aproximadas en la Figura 3 de este artículo.

76 En 2004 Negueruela hace alusión a la correspondencia mantenida con J. (Hans) Van der Plicht, del Centrum voor Isotopen Onderzoek, Groningen (Negueruela, 2004: 237-238). Sin embargo, en el Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática no localizamos la solicitud enviada por el museo en 1994 ni el resultado de los análisis con fecha 3-08-1994 ni la carta recibida por Van der Plicht con fecha 6-10-1994. Tampoco conocemos los números de inventario de esas muestras.

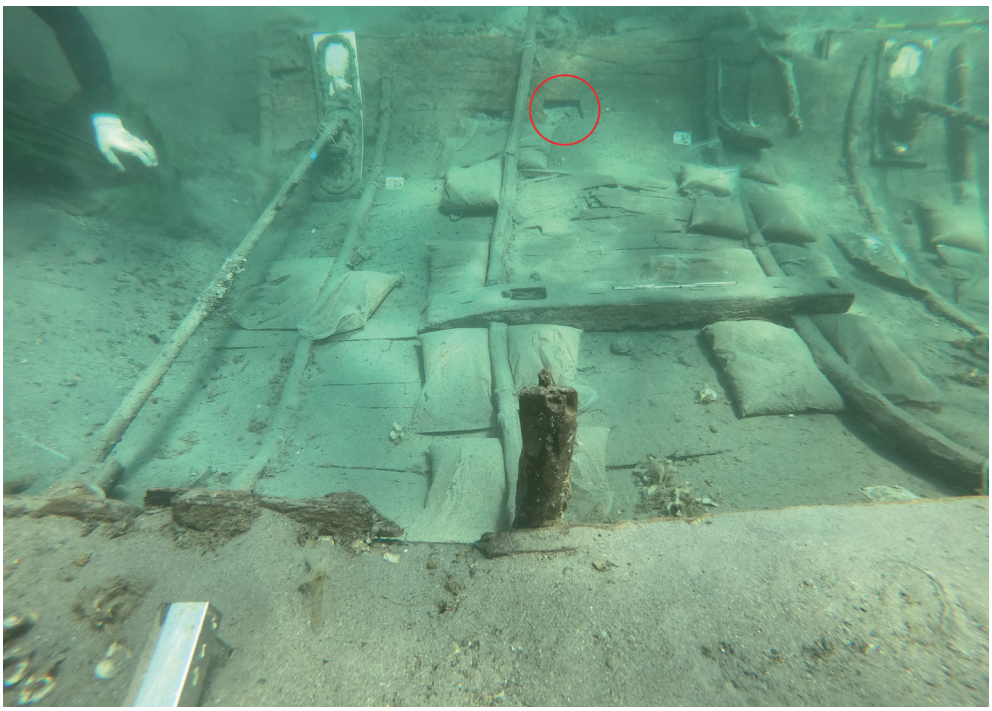


Figura 3. Zona central del barco Mazarrón 2. En el costado de estribor Negueruela (2004, p. 238) indica que se extrajo la muestra Mazarrón BZ3 (Gr-N 20703), por lo que deducimos que sería la parte marcada en rojo. Sus dimensiones son: superior 0.135 m (13,5 cm); inferior 0.153m (15,3 cm), izquierdo 0.112 m (11,2 cm); derecho 0.081m (8,1cm). Medidas calculadas en el modelo fotogramétrico realizado en 2008 por José Luis Casabán, a quien agradecemos su colaboración. Fotografía: Milagros Buendía.

calibration causes problems. The reason is that the calibration curve between 800 and 400 BC is "flat", so that calibrated results become very unprecise» (Negueruela, 2004, p. 238). A pesar de esta apreciación, Negueruela considera que aisladamente las muestras de madera del barco «podrían resultar satisfactorias: 2560 y 2570 BP (566 y 576 a. C. respectivamente), con sendas desviaciones de 30 y 70 años que, tomándolas por la parte alta de la tabla cronológica, nos llevarían en el primer caso al 596 y en el segundo caso al 646, lo que coincide con la datación que la cerámica fenicia nos está arrojando para la bahía: 2ª mitad del siglo VII a. C.» (Negueruela, 2004, p. 238) (Figura 3).

Respecto a la asignación taxonómica de las maderas, no se solicitó «análisis de determinación de especies de *Mazarrón 2* debido a que la identificación visual de las diversas partes del barco nos permiten creer que se usaron las mismas especies que en *Mazarrón 1*» (Negueruela, 2004, p. 237). Las muestras del primer barco fueron enviadas al departamento de maderas del Instituto de Investigaciones Agrarias[77], donde fueron analizadas macro y microscópicamente en sus tres secciones (transversal, longitudinal tangencial y longitudinal radial). Los resultados de la identificación taxonómica del *Mazarrón 1* se publican señalando que la quilla es de cedro (*Cupresus sempervivens L.*), la cuaderna de higuera (*Ficus carica*), la traca de pino (*Pinus sp.*), la lengüeta y el pasador de olivo (*Olea europea*) y el cabo de esparto (*Stipatenacissima*) (Sierra, 1999, pp. 52-53; Negueruela, 2004, pp. 236-237; 2005a, p. 25; 2005b, p. 25). A este respecto, algunos autores advierten un problema con la traducción del nombre científico *Cupressus sempervirens L,* citado como cedro en las publicaciones de Negueruela, aunque la traducción correcta es ciprés común (Juan, 2017b, p. 232, nota 3; Casabán*, 2023, p. 6, nota 1).

[77] Agradecemos a Juan I. Fernández-Golfín Seco el envío, con fecha de 20/02/2023, de la documentación que permite conocer los análisis de las maderas y cabos del barco *Mazarrón 1*, realizados por el INIA en 1997 (informe MLR/20/97) y completar el expediente de dicho análisis en el Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

En 2010 Negueruela envía a Ernestina Badal (Universidad de Valencia) seis muestras de madera de *Mazarrón 2*[78], que son analizadas por Yolanda Carrión[79] en 2011. Los resultados arrojan los datos expuestos en la Tabla 3.

Tabla 3
Identificación de especies de muestras de madera del barco *Mazarrón 2*

MUESTRA	Inv.	DESCRIPCIÓN	IDENTIFICACIÓN	NOMBRE COMÚN
1	MZ-2008-SUP-028	Cuaderna	*Juniperus sp.*	Enebro, sabina
2	MZ-2008-SUP-037	Bancada	*Phillyrea/Rhamnus*	Labiérnago, aladierno
3	MZ-2008-SUP-017	Abarrote	*Tamarix sp.*	Taray
4	MZ-2008-SUP-ANCLA 2	Ancla	*Phillyrea/Rhamnus*	Labiérnago, aladierno
5	MZ-2008-SUP-030	Codaste	*Pinus halepensis*	Pino carrasco
6	MZ-2008-SUP-ANCLA 1	Ancla	*Quercus perennifolio*	Carrasca, coscoja

Fuente: elaboración propia, a partir del informe de la Universidad de Valencia de 2010.

La mayor parte de las maderas corresponden a especies arbustivas características del matorral tardomediterráneo. Parte de esa información, en concreto la identificación del codaste, la cuaderna y el abarrote, fue publicada posteriormente (Miñano, 2014, pp. 7, 9 y 10). Respecto a la asignación de las cuadernas al género *Juniperus* publicada por Miñano (2014, p. 9), Juan (2017b) cree que, dado su escaso porte, más que sabina serían de enebro, aunque sea una especie inédita en la arquitectura naval antigua (*ibid.:* 69).

En 2002 Negueruela envía dos muestras de cabo y una muestra de resina del barco *Mazarrón 2* a Marian del Egido[80], del Instituto del Patrimonio Histórico Español (IPHE)[81], para su identificación. En 2004 Negueruela publica los resultados de los análisis de las resinas que impermeabilizaban el interior del barco y que se retiraron para poder dibujarlo. Ambos análisis son realizados en el IPHE por María Luisa Gómez, junto a Marian García en el segundo de ellos (Gómez y García*, 2002). En 1997 se identifica la resina como procedente del copal, sin embargo, en 2002, es identificada como resina de colofonia transformada en brea al calentarla, debido a que se utilizan técnicas más avanzadas, espectrometría de infrarrojos y cromatografía de gases (Negueruela, 2004, pp. 235-236 y notas 13-14)[82]. Esta misma publicación da a conocer los resultados de unos análisis efectuados a dos fragmentos de cabo que presentan características morfológicas muy similares a las del esparto, según microscopía óptica y test microquímicos realizados por Carmen Martín de Hijas (Martín*, 2002; Negueruela, 2004, p. 239 y nota 16). En 2023, tal como se comenta en el apartado 4.2 de este artículo, el Museo ARQVA ha seleccionado varias muestras de fibras vegetales

78 Relación de muestras de madera remitidas a la Universidad de Valencia para su identificación de especie, fechada el 03/06/2010. Nº Reg. Salida 272. Expediente 12/1994/01. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática. En este documento se dan más detalles sobre las muestras seleccionadas y su correspondiente número de inventario: fragmento distal de cuaderna que conserva restos de talla, del atado y de la brea; fragmento de bancada, que conserva el orificio para el puntal; fragmento de abarrote, del ancla, del codaste y del ancla.

79 Agradecemos a Yolanda Carrión el envío, con fecha de 22/09/2023, del informe completo de los resultados de la asignación taxonómica y su correspondiente documentación gráfica.

80 Carta del director del museo a Marian del Egido, 16/04/2002. N.º Reg. Salida 82. Expediente 12/1994/01. Archivo Museo Nacional de Arqueología Subacuática. La muestra número 12 citada se corresponde con el Inv. 1754, tal como figura en la solicitud de 4 de abril de 2002, enviada a Álvaro Martínez Novillo, subdirector del IPHE.

81 Actual Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE).

82 En el Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática no se conserva el informe del IPHE con fecha 9-10-1997 (identificación de la resina procedente del copal), aunque sí se cuenta con el informe de 2002 (identificación de la resina de pino), informes mencionados en la publicación citada.

y resina del *Mazarrón 2* (de la campaña del año 2000) para su análisis en la Universidad Politécnica de Valencia. La asignación taxonómica de las fibras vegetales (de los cabos y la espuerta) tiene como objetivo avanzar en el conocimiento de la cabuyería utilizada en el barco y otros elementos de la vida a bordo. Respecto a la resina se va a estudiar su composición química, para determinar las técnicas de impermeabilización del barco y así ampliar el conocimiento de la construcción naval de esa época.

En cuanto al cargamento, Negueruela solicita un primer análisis el 3 de noviembre del 2000, cuando se envían cinco lingotes de plomo[83] a Salvador Rovira Llorens, por entonces conservador del Departamento de Conservación Preventiva del Museo Arqueológico Nacional (MAN)[84], que analiza dos (Inv. 166 y 167), concluyendo que se trata de litargirio. Rovira[85], el 1/12/2000, realizó los análisis en el Servicio Interdepartamental de Investigación (SIdI) de la Universidad Autónoma de Madrid, concluyendo que «El resultado del análisis por microscopía electrónica de barrido de dos muestras correspondientes a los lingotes C-166 y C-167 del pecio de Mazarrón indica que se trata de litargirio, o quizás más propiamente, de cerámica litargirizada de dos copelas grandes. El mineral predominante es litargirio (óxido de plomo), pero en ambas muestras hay silicatos (entre 4,5 y 12,8 % de SiO2) que han formado cristales de diópsido, wollastonita y probablemente algo de silicato de plomo. Hay algunos núcleos de plomo metálico. No se detecta plata, si bien el límite de detección de este elemento en un análisis de área grande suele ser del orden de 0,3 %». Negueruela publica que el cargamento del barco *Mazarrón 2* está compuesto por «lingotes de mineral de plomo, concretamente litargirio» (Negueruela, 2004, pp. 234-235 y 255, nota 12). Años más tarde, Renzi, Montero-Ruiz y Bode especifican que este cargamento estaba compuesto por lingotes de plomo y tortas de litargirio, que el análisis de isótopos de los fragmentos de litargirio de la Fonteta y *Mazarrón 2* sitúa su procedencia en la sierra minera de Cartagena y Mazarrón, por lo que sugieren que podría haber un transporte de larga distancia de este producto (Renzi, Montero-Ruiz y Bode, 2009, pp. 2592 y 2594).

Posteriormente, Negueruela solicita dos nuevos análisis al Instituto del Patrimonio Histórico Español (IPHE). El 16 de abril de 2002 envía a Marian del Egido un fragmento de mineral (Inv. 1754) para su análisis[86] y el 25 de febrero de 2003 a Paz Ruiz una torta (Inv. 460) para su estudio y evaluación de tratamiento[87]. Ambas son analizadas por José Vicente Navarro Gascón, quien emite dos informes (2002 y 2003). En el último de ellos, de junio de 2003, señala que: «En ninguno de los difractogramas resultantes se ha detectado litargirio —PbO—» y concluye que: «En su conjunto, la torta analizada puede ser considerada como procedente del procesado de minerales de plomo con ganga silicatada. […] La abundancia de compuestos de plomo —elemento presente de forma mayoritaria en todos los análisis realizados— señala una baja tasa de recuperación de este metal, siendo posible que el objetivo del procesado fuese la recuperación de plata» (Navarro*, 2003, p. 4 y p. 5).

El 16 de mayo de 2002, Alfredo Mederos[88]solicita la realización de análisis de isótopos de plomo sobre algunas muestras de yacimientos fenicios de la zona, en el marco de un proyecto de

---

83 Inv. 166, 167, 178, 848 y 1711, según consta en el Acta de cesión temporal para análisis, con fecha 3/11/2000. Expediente 12/1994/01. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

84 Agradecemos a Bárbara Culubret Worms (Departamento de Conservación del MAN), Mónica Martín Díaz, Ana Cabrera Díez (Departamento de Documentación del MAN), Aurora Ladero Galán (Archivo del MAN), Salvador Rovira (conservador del Departamento de Conservación Preventiva del MAN, actualmente jubilado) e Ignacio Montero (Investigador Científico de OPIS. Instituto de Historia. Departamento de Arqueología y Procesos Sociales del CCHS) su colaboración en la búsqueda de estos documentos.

85 El informe original de Salvador Rovira con los resultados de esas analíticas no se ha localizado en el Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática. Sin embargo, Salvador Rovira nos ha facilitado por correo electrónico (03/03/2023) los resultados obtenidos en el Servicio Interdepartamental de Investigación (SIdI) de la Universidad Autónoma de Madrid. Expediente 12/1994/01. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

86 Véase la nota 78.

87 Acta de cesión, con fecha 25/02/2003, enviada por el director del museo a Paz Ruiz. N.º Reg. Salida 28. Expediente 12/1994/01. Archivo Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

88 Agradecemos a Alfredo Mederos la información facilitada en febrero de 2023.

investigación sobre comercio de plata y estaño en la prehistoria y protohistoria de la Península Ibérica (Universidad Complutense de Madrid), bajo la dirección de Martín Almagro Gorbea. Su objetivo es comprobar si el litargirio, plomo y estaño transportados en los pecios *Mazarrón 1*, *Mazarrón 2* y Bajo de la Campana procedían del entorno de las sierras mineras de Mazarrón y Cartagena o tienen una procedencia alóctona[89]. Para ello el 11 de octubre de 2002, desde el museo, se le envían cuatro muestras de litargirio del barco *Mazarrón 2* y cuatro encontradas en el exterior del barco en la Playa de la Isla[90]. Respecto a los fragmentos de lingotes procedentes del fondo de la bahía señalan que tienen un 90% de plomo y que quizá procedan de la copelación de galena argentífera (Mederos y Ruiz, 2004, p. 269).Posteriormente, indican que los lingotes del barco *Mazarrón 2* son de litargirio u óxido de plomo (PbO) y que proceden de la copelación de galena argentífera (Mederos, Chamón y García, 2017, p. 439).

En mayo de 2010, Marcus Heinrich Hermanns, vinculado al Instituto Arqueológico Alemán de Madrid y en el marco de un proyecto de arqueominería en la isla de Ibiza, tomó 22 muestras del contexto del pecio de *Mazarrón 2*, para su análisis en dos laboratorios de Alemania[91]. Su informe de 2014 detalla los métodos aplicados y los resultados de los análisis químicos e isotópicos realizados, así como una interpretación preliminar. Señala que parte de las muestras dieron como resultado ser ganga, desprendida de la superficie de los lingotes, y que, además, se identificaron 6 muestras de sulfuro de plomo, 3 óxidos de plomo y 1 pieza de plomo (Hermanns*, 2014, pp. 3-8).

En la actuación arqueológica realizada en el verano de 2019, bajo la dirección de Carlos de Juan, se tomaron algunas muestras de arena y madera para su análisis. Las muestras de arena, procedentes de debajo del casco del *Mazarrón 2*, fueron analizadas por José Antonio Moya (Universidad de Alicante) concluyendo que «muestran la presencia de partículas de hierro»[92]. Sin embargo, se señala que: «Será necesario un estudio estadístico más amplio para conocer si son causa de la Caja Fuerte o de la contaminación del Gachero». Además se extrajo una muestra de 1 cm^3 de madera para someterla al mismo examen de contaminación en la Universidad de Texas A&M, por parte de Christopher Dostal, pero debido a las circunstancias de la pandemia su estudio quedó pendiente (Juan*, 2021a, p. 7).

En la actuación arqueológica de 2023, tal como se comenta en los apartados 4.2 y 4.3 de este artículo, el Museo ARQVA ha tomado muestras de madera de una cuaderna y de una traca, agua y sedimentos para realizar los siguientes análisis. El Instituto de Ciencias Forestales (ICIFOR)-INIA y el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, ambos del CSIC, realizarán la asignación taxonómica y establecerán las propiedades físico-químicas de la madera de una muestra de cuaderna (Inv. MZ-23-01/01) y otra de traca (Inv. MZ-23-02/01). La Universidad Politécnica de Valencia (UPV) analizará una muestra de una cuaderna (Inv. MZ-23-01/02) y otra de traca (Inv. MZ-23-02/02) para determinar su estado de conservación y establecer su datación. Así mismo, la UPV analizará cuatro muestras de agua, tanto del yacimiento (Inv. MZB2_2023_Agua 01 y MZB2_2023_Agua 02) como de la zona del Gachero (Inv. MZPI-Gachero_2023_Agua01) y de la playa próxima al Cabezo de Gavilanes (Inv. MZCG_2023_Agua01), y 18 muestras de sedimento de los mismos enclaves (Inv. MZB2_2023_Arena 01 a MZB2_2023_Arena 16; MZPI-Gachero_2023_Arena01; y MZCG_2023_Arena01), con el objetivo de establecer su posible incidencia sobre el barco, especialmente la contaminación de hierro u otros compuestos. Por su parte, tal como se comenta en el apartado 4.3

89 Carta de Alfredo Mederos al director del museo, con fecha 16/05/2002. N.º Reg. Entrada 45 de 23/05/2002. Expediente 12/1994/01. Archivo Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

90 Carta del director del museo a Alfredo Mederos, con fecha 11/10/2002. N.º Reg. Salida 169. Expediente 12/1994/01. Archivo Museo Nacional de Arqueología Subacuática. En el documento no se detalla el número de inventario de las piezas de las que se han tomado las muestras. Tampoco hemos localizado en el Archivo del museo el informe con los resultados de esas analíticas.

91 Laboratorio del Deutsches Bergbau-Museum (DBM, Bochum, Alemania) que, a su vez, colabora con el laboratorio de la Universidad de Frankfurt am Main (Alemania).

92 En el Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática no disponemos del informe de esas analíticas.

de este artículo, el equipo de la CARM ha tomado muestras de cerámica y abarrote para su análisis en la Universidad de Valencia.

En la actualidad, como se detalla en el apartado 4.2 de este artículo, se han solicitado nuevas analíticas desde una perspectiva más integral, considerando las necesidades de la investigación en el ámbito de la conservación y de la arqueología. La caracterización mineralógica y química del molino de mano (Inv. MZ-00-V-111) aportará información sobre su composición y la posible procedencia de los materiales utilizados en su fabricación, lo que permitirá avanzar en el conocimiento del yacimiento[93]. El estudio paleobiológico y tafonómico de los catorce fragmentos óseos (Inv. MZ-2000-B2-1800) tiene por objetivo reconocer las especies conservadas en el barco en relación con las costumbres tróficas de los humanos y la cultura que generó este depósito, lo que subraya la importancia de reconocer ciertas especies muy relacionadas con la movilidad de las poblaciones humanas y el aporte de animales que podrían proceder de otros territorios y de otras culturas. La caracterización petrográfica y química de una muestra del ánfora (Inv. MZ-2008-SUP-014/01), así como su estudio mineralógico, permitirá avanzar en el conocimiento de la tecnología de producción, su procedencia y posibles redes comerciales. El análisis de las muestras tomadas de doce lingotes de mineral de plomo, (Inv. Nº 38, 137, 226, 393, 469, 692, 733, 933, 128, 1379, 1555 y 1720), hará posible conocer su composición química, estudiar sus fases cristalinas y poder determinar su procedencia y posible incidencia en el estado de conservación del barco. La asignación taxonómica de las fibras vegetales extraídas de cabos y la espuerta (Inv. SN00019/32, SN00019/23, SN00017, MZ-2008-SUP-019, MZ-2000-B2-1841 y DO00004) permitirá avanzar en el conocimiento de la cabuyería utilizada en el barco y otros elementos de la vida a bordo. Por último, la composición química de la resina (sin nº inv.) determinará las técnicas de impermeabilización del barco y así ampliar el conocimiento de la construcción naval de esa época.

2.2.4. Estudio de materiales

De la misma manera que en el apartado anterior, recogemos los estudios que se han realizado sobre el cargamento mineral y los objetos vinculables a la vida a bordo (molino de mano, fragmentos óseos, ánfora, cabos, vara, cesto) o relacionados con la propia embarcación (cabos, ancla) y se resumen sus principales conclusiones.

El cargamento de la embarcación estaba compuesto por 1797 fragmentos de mineral, con un peso total de unos 2800 kg (Negueruela, 2004, p. 235), que por su morfología se interpretan como lingotes de plomo de tipología prerromana (Negueruela*, 1995b, p. 12). La identificación del tipo de mineral del cargamento aparece publicada por primera vez en 2004 (Negueruela, 2004, pp. 234-235 y p. 255, nota 12), afirmando que eran de litargirio, idea que se reitera en 2005 partiendo de los análisis realizados en el año 2000 por Salvador Rovira (Negueruela, 2005a, p. 25). Renzi sugiere que el litargirio de *Mazarrón 2* y el de la Fonteta proceden de la misma zona minera, vinculable al distrito de la sierra minera de Cartagena y Mazarrón (Renzi, Montero-Ruiz y Bode, 2009, p. 2592). Sin embargo, los análisis sobre otras muestras establecen la abundancia de compuestos de plomo, hasta un 90 %, como resultado de su procesado para la obtención de plata (Navarro*, 2003, pp. 4-5; Mederos y Ruiz, 2004, p. 269). Miñano estudia la tipología de las tortas que se corresponden formalmente al tipo A1 de Brown, modelo discoidal plano-convexo (Brown, 2011, p. 93); y, teniendo en cuenta que el fragmento mayor documentado pesa 12 kilos, calcula que una torta completa pesaría unos 22 kilos (Miñano, 2014, p. 10). Brown señala que *Mazarrón 2* es un ejemplo de cargamento de metales primarios (lingotes, mineral o mineral procesado, a menudo un subproducto metalúrgico como el litargirio) que ocupan la mayor parte del espacio de

[93] La toma de datos se realizó en octubre de 2023 y los resultados preliminares apuntan que no se trata de granito. Véase: https://www.instagram.com/p/Cz5o4VgOyaP/?fbclid=IwAR0w3rWrnat08vYd-aca9HRv1ufyZxTWdouK49E8twIBs6oRQK0SmdI9y5g y https://www.facebook.com/museoarqva/posts/pfbid02vySKQHmBAj1zRaxFJJeJvrVt4Bbkou6AFui8esNWrah7aGYfHHH-6164d2Au8M4gJl).

la carga del barco (Brown, 2011, p.110). Así mismo, ese autor indica que el hecho de que transportara un subproducto metalúrgico (litargirio), en lugar de plomo refinado, es un testimonio temprano de que no se trataba simplemente de un «producto de desecho» de la industria de la plata, sino de un bien que para los antiguos tenía suficiente valor como para transportarlo más allá de la región minera (Brown, 2011, p. 66 y pp. 119-120)[94].

El molino de mano se compone de dos piedras catalogadas como de granito[95] y responde al tipo barquiforme (Negueruela, González, San Claudio *et al.*, 2004, p. 477; Negueruela, 2005b, p. 24). Su función está vinculada a la vida a bordo para la molienda de cereal (VV. AA., 2008, pp. 128-129; Miñano, 2014, p. 11). En esta última publicación, Miñano identifica la tipología del molino con el tipo VP2 de Portillo (Portillo, 2006, pp. 19-22).

Los fragmentos óseos han sido identificados como de ovicáprido y lagomorfos (Negueruela, 2004, p. 235) y se han interpretado como avituallamiento para la travesía (Miñano, 2014, p. 11). En el año 2007 se registraron en Domus como un molar de ovicáprido, nueve fragmentos de ovicáprido (costillas, radio, escápula) y cuatro extremidades de lagomorfo, sin conocer la procedencia de dicha información[96].

La única ánfora[97] completa del pecio, que apareció muy fragmentada, se identificó inicialmente como un ánfora fenicia tipo R-1 (Negueruela*, 1995b, p. 12) y posteriormente como un ánfora del tipo Trayamar 1, por su similitud a los ejemplos de la costa de Málaga y Granada (Negueruela, 2005b, p. 23). Esa identificación como un ánfora tipo Trayamar 1 y la descripción de sus desgrasantes (García Galán, 2003, pp. 341-342) llevó a otros autores a señalar que el ánfora procedería de la zona malagueña y a plantear que la embarcación pudo haber realizado el trayecto entre Málaga y Mazarrón (Mederos y Ruiz, 2004: 267-268). La cronología de utilización de este tipo de ánforas, y sus variantes morfológicas, se sitúa entre la segunda mitad del siglo VII a. C. y finales del VI a. C. (Blázquez, 1975, p. 287; Molina, Ruiz y Huertas, 1982, p. 199, como se cita en Juan, 2017a, p. 240). Años más tarde, Joan Ramón identificó el ánfora de *Mazarrón 2* con un ánfora sudibérica muy tardía (tipo T-10121 de Ramón), dados sus claros paralelos morfológicos con algunos estratos[98] del yacimiento del Cerro del Villar (Málaga), por lo que la ubica cronológicamente en el último cuarto del siglo VII a. C. o las primeras décadas del VI a. C (Ramón, 2008, p. 42 y nota 1; Juan, 2017a, p. 241). Posteriormente, este mismo autor asocia el ánfora de Mazarrón al Horizonte M5 (que ocupa el primer tercio del siglo VI a. C.) en el yacimiento citado del Cerro del Villar (Málaga), así como a otros contextos arqueológicos como el nivel VI de La Fonteta (Alicante), en la nueva instalación de Ibiza o en el alfar de la Pancha, donde se fabrica (Ramón, 2011, pp. 226-230, como se cita en Miñano, 2014, p. 11). En cuanto a la interpretación de la función del ánfora, al ser el único recipiente anfórico de la embarcación y haberse localizado en la zona central del barco, se ha considerado que se utilizaría para llevar agua dulce y beberla durante la travesía (Mederos y Ruiz, 2004, p. 268; Negueruela, 2005b, p. 31; Miñano, 2004, p. 11). No obstante, no hay que olvidar que en el año 2000 también se recuperó el borde y asa de otra ánfora de la misma tipología (Negueruela*, 1995b, p. 12), por lo que el barco llevaba un Número Mínimo de Individuos (NMI) de dos ánforas[99].

---

94 En 2023, como se detalla en los apartados 2.2.3 y 4.2 de este artículo, se ha solicitado el análisis de doce muestras de lingotes.

95 Autores como Negueruela y Miñano señalan que el molino de mano es de granito, aunque en el Archivo del museo no hay constancia de que se hiciera ninguna identificación pétrea del mismo. En 2023, como se detalla en los apartados 2.2.3 y 4.2 de este artículo, los resultados preliminares de la caracterización mineralógica y química apuntan que no se trata de granito.

96 Esa es la razón por la que en 2023, como se detalla en los apartados 2.2.3 y 4.2 de este artículo, se ha solicitado un estudio paleobiológico y tafonómico.

97 En el año 2000 se recuperaron 52 fragmentos de esta ánfora (Inv. MZ-2000-B2-1973) y en 2008 dos fragmentos más. El resto de fragmentos documentados se corresponden con objetos incompletos, como se ha comentado anteriormente.

98 Estrato IV del corte 5 e, incluso, el estrato II del sector 3/4 del Cerro del Villar publicados por Aubet y otros autores en 1999 y que Joan Ramón pone en relación con el ánfora de *Mazarrón 2* (Ramón, 2008, p. 42, n. 1).

99 En 2023, como se detalla en los apartados 2.2.3 y 4.2 de este artículo, se ha solicitado su análisis y estudio mineralógico.

Los restos de cabos, que aparecieron junto al ánfora, son interpretados por Negueruela como cabos para forrar completamente el ánfora «como las damajuanas actuales» o para sujetar el ánfora verticalmente al mástil (Negueruela, González, San Claudio *et al.*, 2004, p. 477; Negueruela, 2005b, p. 23). En relación a estos cabos, Miñano coincide en que pudieron servir para sujetar el ánfora verticalmente y añade su posible relación con la jarcia de la embarcación. Por otra parte, interpreta el cabo adujado con otro cabo más fino[100] como soporte para el ánfora (Miñano, 2014, p. 11)[101].

La vara de madera, de sección circular y con un fragmento de cuerda anudado en uno de sus extremos, estaba en estudio en el año 2000 (Negueruela, González, San Claudio *et al.,* 2004, p. 475; Negueruela, 2004, p. 235), aunque los resultados del mismo no se llegaron a publicar. Dicho objeto ha sido relacionado con otros localizados en el pecio de Binissafúller (Menorca), donde se encontraron varias varas de características similares, que según sus excavadores pudieron utilizarse para ayudar a fijar el cargamento de ánforas mediante atados, aunque no descartan su uso como perchas para mover la embarcación por aguas interiores (Juan, 2017b, p. 237 y nota 10).

El cesto de fibra vegetal con asa de madera, localizado en la zona central del barco, fue interpretado como una espuerta de esparto (Negueruela, González, San Claudio *et al.*, 2004, p. 472, foto 20, y p. 477; Negueruela, 2005b, p. 23; VV.AA.*, 2010, p. 70, fig. 26). Así mismo, se planteó que los negativos de dos objetos documentados, dada su forma, podrían corresponderse con dos cestos vegetales ya desaparecidos (Negueruela, Pinedo, Gómez *et al.*, 2000, p. 1674). De la misma forma, un asa de madera que apareció suelta podría estar relacionada con alguna cesta desaparecida según Miñano (2014, p. 11). De ello se deduce que en el pecio de *Mazarrón 2* pudo haber un NMI de 3 espuertas: la que se documentó completa y los dos negativos de cestos desaparecidos, de los que solo se habría conservado el asa de madera suelta. Estos bienes no han sido objeto de ningún estudio específico, aunque se han planteado varias interpretaciones sobre su posible funcionalidad en el barco. Negueruela, en un primer informe, la describe como una espuerta de minero, en madera y esparto (Negueruela*, 1995b, p. 12), aunque posteriormente publica que la espuerta, como el molino, deberían estar destinadas o relacionadas con la comida de la tripulación (Negueruela, 2005b, p. 31). Miñano comparte ambas hipótesis sobre la espuerta, señalando que podría estar relacionada con la manutención de la tripulación, dada su localización en el barco, o con el transporte de metal. Además indica que los únicos ejemplares de similares características son de cronología posterior y que, en su mayoría, están asociados al trabajo en la mina (Miñano, 2014, p. 11). Juan considera que esa espuerta formaba parte de los materiales de la marinería y hace referencia a una hipótesis de Xavier Nieto. Teniendo en cuenta la presencia de espuertas en otras embarcaciones, su morfología y especialmente su impermeabilización, Nieto plantea que «pudieran tratarse de achicadores para permitir evacuar el agua que entrara en la embarcación, hecho que debía ser frecuente en una nave como esta de tan escaso puntal y sin cubierta» (Juan, 2017b, p. 237 y nota 9).

El ancla de *Mazarrón 2* es descrita por Negueruela como un ancla construida de madera de doble uña, con cepo de plomo embutido y atado a la caña, y arganeo que conservaba una parte de la estacha que la unía al barco (Negueruela, González, San Claudio *et al.*, 2004, p. 478 y p. 476, fotos 23 y 24). Según indica Negueruela, cuando la descubrieron el ancla estaba rota, por lo que extrajeron la parte que afloraba «la casi totalidad de la caña con una de las uñas» y gran parte de la estacha, dejaron *in situ* el cepo y el arganeo (Negueruela, 2004, p. 235 y p. 266, figuras 8 y 8a). En 2010, como se ha comentado en el apartado 2.2.3. de este artículo, Negueruela mandó analizar dos muestras del ancla a la Universidad de Valencia, donde fueron identificadas como *Phillyrea/ Rhamnus* (Labiérnago, aladierno) y *Quercus perennifolio* (Carrasca, coscoja), sin detallarse de qué

[100] Este conjunto, al que hace referencia Miñano, se extrajo del interior del barco en 2008.

[101] En 2023, como se detalla en los apartados 2.2.3 y 4.2. de este artículo, se ha solicitado su análisis para determinar la asignación taxonómica de las fibras vegetales (cabos y espuerta), ya que en el Archivo del Museo no hemos localizado información alguna relativa a la existencia de estudios sobre este tipo de piezas.

parte del ancla procedían las mismas. A ese respecto, Miñano publica que la caña y el brazo del ancla, fabricadas en una sola pieza de madera, son de *pinus halepensis*, mientras que el otro fragmento del ancla es de *Phillyrea/Rhamnus.* Ese segundo fragmento procede de una pequeña madera que había sido interpretada como parte de una posible uña no conservada. Sin embargo, considerando la diferencia de grosor entre ambos elementos y la distinta especie de madera utilizada, la autora plantea la posibilidad de que no se trate de otro brazo del ancla, sino de una pieza para fijar el cepo, impidiendo el desplazamiento entre sí de las maderas, que estaban atadas mediante un cabo (Miñano, 2014, p. 10).

En el año 2000, Negueruela afirmó que el ancla del *Mazarrón 2* era el ancla «construida» más antigua conocida en el Mediterráneo en ese momento, puesto que el paralelo más cercano es el ancla del Ma'agan Michael (Israel), fechada en el siglo IV a. C (Negueruela, González, San Claudio *et al*., 2004, p. 478). La excepcionalidad del ancla de *Mazarrón 2* hace que haya sido citada u objeto de estudio por otros investigadores. Gregory Votruba y MichalArtzy comparan el ancla de *Mazarrón 2* con los restos del brazo de una ancla de madera localizada en Liman Tepe (Turquía), que apareció incrustada en una mata de posidonia en el fondeadero de la antigua ciudad jónica de Klazomenai y que fue datada a finales del siglo VII o principios del VI a. C., por los restos cerámicos documentados en el mismo nivel. Estos autores incluyen en su publicación un gráfico explicativo del ancla de *Mazarrón 2* (Votruba y Artzy, 2016, p. 450 y fig. 7). Piero Gianfrotta, en su estudio sobre las anclas de los mercantes fenicios, analiza detalladamente el ancla de *Mazarrón 2*, la compara con otros ejemplares similares y concluye señalando que entre los ejemplares conocidos hasta ese momento (año 2021), el ancla del pecio de *Mazarrón 2* es la más antigua dotada de un bloque de plomo, destacando que se utilizó simultáneamente con las anclas provistas de cepos líticos (Gianfrotta, 2021, p. 260).

2.2.5. Construcción naval y navegación

Iván Negueruela, director de la excavación del pecio *Mazarrón 2,* estudia la arquitectura naval del barco en dos artículos específicos cuyos títulos son suficientemente explícitos: «Hacia la comprensión de la construcción naval fenicia según el barco *Mazarrón 2* del siglo VII a. C.» (2004) y «"Coagmentapunicana" e bagli. La costruzione navale a fasciame portante tra i fenici del VII sec. a. C.» (2005a).

Indica que se trata de un barco prácticamente completo de proa a popa, construido íntegramente en madera, sin resto alguno de metal. Señala que sus dimensiones reales serían mayores que las medidas conservadas (8,15 m de eslora, 2,20 m de manga y un puntal mínimo de 0,9 m), dada la pérdida de las tracas superiores (Negueruela, 2004, p. 235; 2005b, p. 31). Otras características generales son: la simetría en su proa y en su popa, tanto en su planta como en su alzado lateral, al menos en su obra viva y en la parte inferior de la obra muerta del barco, dado que la regala solo se conserva en una zona; y su forma afilada, con una relación eslora-manga próxima a 1:4 (Negueruela, 2004, p. 240; 2005b, p. 32). En cuanto a su propulsión, señala que la carlinga del mástil, en el centro de la quilla, es una prueba de su navegación a vela y que no hay ningún vestigio que indique el uso del remo (Negueruela, 2004, p. 235).

En ambos estudios se analiza el sistema de construcción del *Mazarrón 2,* que, igual que *Mazarrón 1*, se construyó a casco primero y a tope, con las tracas ensambladas a caja y espiga y cosido para las cuadernas del casco. A partir de la quilla, a la que se unen la roda y el codaste para formar la proa y la popa, se tienden progresivamente las sucesivas hiladas de tracas, haciendo tope unas con otras. Las maderas del casco se unen a la quilla y entre sí mediante lengüetas (espigas) insertadas en hendiduras (mortajas) y fijadas por pasadores perpendiculares (clavijas), que atravesaban las lengüetas, es decir, utilizando la técnica de «tenons et mortaises», conocida como «coagmenta punicana» descrita por Catón. Con esa misma técnica se instala la sobrequilla, en la que se talla la carlinga donde iría alojado un mástil removible del que no queda ningún resto. La unión de ambos costados de la embarcación se hace mediante los baos, que actúan como tirantes estructurales transversales del barco y son la clave de la construcción a casco según Negueruela. Los

extremos de los baos, en forma de cola de milano, encajan y quedan completamente aprisionados entre dos hiladas de tracas, sobresaliendo por la parte exterior del barco. Las cuadernas son ramas simplemente desbastadas y extremadamente frágiles, que pasan por encima de la quilla, por lo que no tienen función estructural, y se unen al casco mediante el cosido a través de ataduras de fibra vegetal en forma de aspa. Finalmente, el interior del barco fue embreado con resina de pino (Negueruela, 2004, pp. 240-255; 2005b, pp. 26-41). En otra publicación, Negueruela alude a la doble función de la estructura de baos o bancadas, como refuerzo del casco y asientos para la tripulación (Negueruela, González, San Claudio *et al.*, 2004, p. 479).

Negueruela considera que el barco *Mazarrón 2* permite, por primera vez, conocer y comprender el sistema de construcción de un tipo de barcos fenicios utilizados en la primera mitad del primer milenio, en el siglo VII a. C. (Negueruela, 2004 y 2005b, p. 32). Por otra parte, la similitud de la carlinga del barco con las referencias en *La Odisea* a los mástiles que se retiran y ponen cada vez que el barco sale a navegar, llevan a Negueruela a plantear que *Mazarrón 2* podría ser «la confirmación arqueológica de las descripciones de Homero» (Negueruela, 2004, p. 254).

Las características técnicas de la construcción naval del barco *Mazarrón 2*, al igual que las del *Mazarrón 1*, han sido objeto de numerosas reflexiones y posteriores investigaciones en el ámbito nacional e internacional. Se plantean hipótesis e interpretaciones distintas sobre la identidad cultural de los carpinteros de ribera que construyeron ambos barcos (fenicios o indígenas con conocimiento de las técnicas fenicias), así como del espacio náutico en el que pudieron navegar (lagunar, costero, marítimo).

En 2005, Patrice Pomey y Erith Rieth (p. 159) son los primeros en considerar que los pecios de Mazarrón podrían ser el ejemplo de una arquitectura naval local, hipótesis con la que coinciden otros autores: Víctor Guerrero los relaciona con la cultura tartésica y las tradiciones indígenas (2008a, p. 59 y 2008b, p. 107); Patrice Pomey (2012) sugiere la existencia de una arquitectura naval realizada por indígenas, con una fuerte impronta cultural fenicia; Carlos de Juan comparte y refuerza los argumentos de Pomey con nuevas evidencias (2017a y 2017b).

Algunas de las interpretaciones de estos autores sobre la identidad de los carpinteros de ribera, así como sobre el origen del tipo de cuadernas usadas y la forma de unirse al casco, han sido analizadas por Ana Miñano (2014, p. 12). Negueruela interpreta ambos pecios como barcos fenicios construidos con la técnica de mortaja lengüeta y pasador, señalando que las débiles cuadernas y su forma de fijarse al casco serían un recuerdo de una tradición anterior (Negueruela, 2005b, p. 31). Guerrero considera las cuadernas como una reminiscencia de tradiciones náuticas autóctonas y señala que los barcos habrían sido construidos por carpinteros de ribera indígenas, que conocían muchas de las innovaciones aportadas por los semitas (Guerrero, 2008a, p. 59). Pomey cree que no hay suficientes datos para determinar si esas cuadernas corresponden a una tradición constructiva fenicio-púnica o indígena, pero teniendo en cuenta que se trata de pequeñas embarcaciones destinadas a una navegación local y comarcal, considera que serían naves de factura indígena realizadas por gente que conocía las innovaciones técnicas fenicias (Pomey, 2012, p. 25).

Patrice Pomey, en 2012, al estudiar el pecio de Golo (Córcega) en comparación con los de Mazarrón y el de Binissafúller (Menorca), encontró una serie de similitudes entre estos naufragios que le hicieron sugerir la existencia de una tradición indígena de construcción naval en la costa mediterránea de la península ibérica, con orígenes fenicios (Pomey, 2012, como se cita en Juan, 2017b, p. 229). Carlos de Juan, en línea con los planteamientos de Pomey, ha publicado varios artículos: analiza los pecios de Mazarrón y de Binissafúller como ejemplos de la tradición ibérica de influencia púnico-fenicia (2014); esboza las técnicas de arquitectura naval de la cultura fenicia y su evolución, incluyendo los casos de Mazarrón (2017a, pp. 68-71); y estudia de forma específica los pecios de Mazarrón, como los ejemplos más antiguos de la arquitectura naval indígena en la península ibérica y presenta el concepto de familia arquitectónica ibérica (2017b). Este autor publica

un artículo sobre *Mazarrón 2* en esta misma monografía, en el que incluye un análisis de su arquitectura naval con más detalle.

Entre las últimas investigaciones sobre la construcción naval de los barcos de Mazarrón, hay que citar las siguientes: Carlos de Juan (2017b) estudia la arquitectura naval de ambos pecios, su datación, el espacio y función náutica y la zona de construcción entre otros aspectos; Carlos Cabrera (2017) analiza el barco *Mazarrón 1*, incluyendo una reconstrucción preliminar del casco, dimensiones estimadas, cálculos hidrostáticos, así como apuntes sobre la función y origen de la nave; y José Luis Casabán (2023) presenta los resultados preliminares del reprocesado del modelo fotogramétrico de 2008 del pecio *Mazarrón 2*, proponiendo un plano de formas del casco y un análisis hidrostático.

Por otra parte, se ha realizado una investigación de arqueología experimental basada en la arquitectura naval y la carpintería de ribera, con el objetivo de construir una réplica fidedigna y navegable, en tamaño real, del barco del pecio *Mazarrón 2*. Para ello, en junio de 2011, se firmó un convenio de colaboración entre el MCU, el Museo Nacional de Arqueología Subacuática y la Fundación Málaga, en el que se acuerda y autoriza a la Fundación a promover la construcción de un prototipo del citado pecio a escala real. El proyecto pretende, además de dar a conocer la tecnología para construir un barco, contribuir a la divulgación de la cultura fenicia. Los astilleros Nereo fueron los encargados de construir el barco utilizando las técnicas milenarias de la carpintería de ribera (Sánchez-Guitard*, 2013; Muñoz, 2017). El proyecto fue liderado por el catedrático e ingeniero naval Francisco Fernández González, junto con el personal de los Astilleros Nereo de Málaga (2013). Se confirmó la viabilidad de construir una réplica futura del barco *Mazarrón 2* que podría navegar a vela, costeando, con seguridad para el barco, las personas y la carga, dada la gran similitud del barco fenicio con la barca de jábega tradicional (Fernández, Sánchez-Guitard, R., Sánchez-Guitard, A.C *et al*., 2013, p. 510).

En cuanto al tipo de embarcación, en 2009 se plantea la hipótesis de que *Mazarrón 2* debió formar parte, junto a *Mazarrón 1*, de una flotilla de barcos que «pertenecen al tipo conocido como *hippos* por su terminación en prótomo de caballo en proa y a veces también en popa» (Martínez, Garrido y Navarro, 2009, p. 111).

Respecto al ámbito náutico en el que pudieron navegar los barcos de Mazarrón hay varias propuestas sobre su posible trayecto y su destino. Negueruela planteó la posibilidad de una navegación marítima, con destino hacia Cádiz, Huelva o incluso Fenicia (2005b, p. 31). Sin embargo, las características de ambas embarcaciones (de pequeñas dimensiones y escaso calado, simétricas y sin cubierta documentada) llevan a otros autores a proponer que estarían destinadas a una navegación local y comarcal (Pomey, 2012, p. 25), bien en áreas lagunales y fluviales (Guerrero, 2008b, p. 103), en el medio costero fluvial y lagunar (Juan, 2017a, p. 71) o exclusivamente en el ámbito lagunar, dado que su escaso puntal no le permitiría trayectos en mar abierto (Polzer, 2009, p. 158).

A ese respecto, tanto Miñano (2014) como Juan (2017b) comentan los trabajos de otros investigadores sobre el entorno costero del yacimiento. Algunos estudios de paleoambiente confirman que todo el entorno de Playa de la Isla fue una zona lagunar de carácter marino (Ros, 2005, p. 53, como se cita en Miñano, 2014, p. 13). Otros estudios caracterizan el paleopaisaje del entorno costero de Mazarrón, como una zona lagunar-marítima que presentaba numerosos islotes de protección, restingas y antiguas zonas lagunares (Berrocal y Pérez Ballester, 2008, p. 46, como se cita en Juan, 2017b, p. 243).

No obstante, la investigación de arqueología experimental citada para la construcción de una réplica navegable del barco de *Mazarrón 2*, y su estrecha relación con la barca de jábega tradicional (Fernández, Sánchez-Guitard, R., Sánchez-Guitard, A.C. *et al.,* 2013), lleva a Miñano a considerar que

el barco de *Mazarrón 2* tendría la capacidad suficiente para realizar una travesía de cabotaje a nivel local y regional (Miñano, 2014, p. 13).

2.2.6. Adscripción cultural y cronológica

La denominación del Proyecto «Nave Fenicia» se ha extendido a la adscripción cronológica del barco *Mazarrón 2*, considerado desde su descubrimiento, junto al *Mazarrón 1*, como fenicio. A partir de ese momento, en sucesivos informes, congresos y publicaciones se dan a conocer los denominados «barcos fenicios de Mazarrón», que desde el principio se adscriben culturalmente al mundo fenicio y cronológicamente al siglo VII a. C.

En el Archivo de ARQVA se conserva un Informe, fechado en 1995, en el que Negueruela argumenta que ambas naves son fenicias por las técnicas de construcción naval empleadas (cosido, mortaja lengüeta y pasador, un sistema constructivo dentro del primer milenio antes de Cristo), por el contexto arqueológico (en torno a los barcos, los únicos del yacimiento, aparece un »espectacular e inusual» volumen de materiales fenicios), la estratigrafía (los niveles de deposición de los barcos se corresponden con los niveles de deposición de los materiales fenicios) y en base al cargamento (un cargamento de lingotes de plomo de tipología prerromana y restos de dos ánforas fenicias, todo ello sellado bajo una capa de posidonia) (Negueruela*, 1995b, pp. 12-13).

En 1995 se publica, en el *International Journal de Nautical Archaeology*, un primer artículo sobre el descubrimiento del pecio *Mazarrón 1*, identificado como un barco fenicio del siglo VII a. C. (Negueruela, Pinedo, Gómez *et al*., 1995). En el IV Congreso Internacional de Estudios Fenicios y Púnicos (Cádiz, 2-6 octubre 1995) dan a conocer el hallazgo de un segundo barco en 1994 planteando por primera vez la posibilidad de que se trate de otra embarcación fenicia similar al *Mazarrón 1* por las semejanzas en su sistema constructivo. Esta afirmación se hace explícita en el título de su intervención, «Descubrimiento de dos barcos fenicios en Mazarrón (Murcia)», publicada años más tarde (Negueruela, Pinedo, Gómez *et al.,* 2000, pp. 1673-1674). Los títulos de las publicaciones posteriores no dejan lugar a dudas sobre la filiación cultural y cronológica del barco *Mazarrón 2*, que Negueruela ha mantenido como fenicio desde el mismo momento del hallazgo y que ubica cronológicamente en la segunda mitad del siglo VII a. C.

En muchas ocasiones se analizan los barcos *Mazarrón 1* y *Mazarrón 2* conjuntamente. Negueruela afirma que los dos barcos son fenicios y previsiblemente de la segunda mitad del siglo VII a. C., siendo las diferencias entre ambos más por su estado de conservación que por su sistema de construcción (Negueruela, 2004, p. 230). De hecho, debido a las similitudes que presentan (misma técnica constructiva y dimensiones aproximadas), extrapola las características de uno a otro (como la identificación de las maderas), con la consecuente confusión en la difusión de estos datos a la comunidad científica y al público en general.

La filiación cultural de los barcos de Mazarrón es un asunto complejo. Negueruela (2004, 2005a, 2005b, 2014) interpreta estas embarcaciones como fenicias y da a entender que fueron construidas por gentes de esa cultura. Sin embargo, como ya hemos comentado en el apartado 2.2.5, otros investigadores (Pomey y Rieth, 2005; Guerrero, 2008a y 2008b; Pomey, 2012; Juan, 2017a y 2017b) consideran que los barcos habrían sido construidos por carpinteros de ribera indígenas, que conocían las innovaciones técnicas fenicias (el ensamblaje del casco con el sistema de mortajas, espigas y clavijas). Por todo ello, parece más plausible considerar que los pecios de *Mazarrón 1* y *Mazarrón 2* son dos barcos de época fenicia, en lugar de dos barcos fenicios.

Respecto a la adscripción cronológica de *Mazarrón 2*, la datación del pecio se fundamenta en los resultados de los análisis de C-14 de cinco muestras de posidonia y maderas, así como en los paralelos morfológicos del ánfora. A continuación, se resumen las consideraciones y argumentos del equipo que excavó el pecio y de otros investigadores que lo han estudiado posteriormente.

En 1994 se tomaron 5 muestras (dos del sello de posidonia, dos de maderas del barco y una del abarrote) que se enviaron a la Universidad de Groningen para ser analizadas por C-14 y que fueron fechadas ese mismo año. Como señala Negueruela (2004), los resultados de las dataciones de C-14 ofrecieron un espectro (entre el 760 y el 490 a. C.) contrario al esperado por cronología relativa (mayor antigüedad del barco que del sello de posidonia): los datos de la posidonia (que sellaba el barco y deberían ser más modernas) dan fechas más antiguas (siglo VIII) que las del barco (entre finales del siglo VII y el VI); e incluso el abarrote (que debería ser más moderno que el barco) da una fecha más antigua que las muestras de madera del casco. Ello se explica por los problemas de calibración detectados para las tres muestras de madera, cuyos resultados fueron muy imprecisos según indica el informe del laboratorio holandés. No obstante, Negueruela considera que las pruebas de las maderas del barco, aisladamente y según las desviaciones indicadas, podrían resultar satisfactorias y llevarían a fechas (596 y 646 a. C.) coincidentes con la datación de la cerámica fenicia localizada en el entorno (segunda mitad del siglo VII a. C.) (Negueruela, 2004, p. 229 y p. 238; 2005b, pp. 25-26). En resumen, Negueruela propone una datación del barco *Mazarrón 2* en torno a mediados del siglo VII a. C., hipótesis que no es compartida por otros investigadores (Ramón, 2008, p. 42, nota 1; Juan, 2017b, p. 241, nota 16). Juan analiza los resultados de las dataciones radiocarbónicas publicadas por Negueruela y concluye señalando que «parece que la propuesta más realista podría situarse entre el 580 y el 570 a. C.» (Juan, 2017a, p. 70).

Respecto a la morfología y la datación del ánfora, que autores como Joan Ramón Torres consideran el único elemento susceptible de discusiones cronoarqueológicas serias en el pecio *Mazarrón 2* (Ramón, 2008, p. 42, nota 1), resumimos la información comentada en el apartado 2.2.4. Su identificación inicial como un ánfora fenicia del tipo R-1 (Negueruela*, 1995b, p. 12) y como del tipo Trayamar 1 (Negueruela, 2005b, p. 23), llevó a deducir que se trataba de un envase producido en las costas de Málaga y Granada, con una cronología de utilización para las ánforas Trayamar 1 situada entre la segunda mitad del siglo VII a. C. y finales del siglo VI a. C. Posteriormente, al identificarse como un ánfora sudibérica muy tardía (tipo T-10121 de Ramón), con claros paralelos morfológicos con estratos del Cerro del Villar (Málaga), se ubicó cronológicamente en el último cuarto del siglo VII a. C. o las primeras décadas del siglo VI a. C. (Ramón, 2008, p. 42 y nota 1). Más adelante, los nuevos paralelos documentados en otros contextos arqueológicos (Cerro del Villar, La Fonteta, Ibiza o la Plancha) hicieron que se delimitara su cronología al primer tercio del siglo VI a. C. (Ramón, 2011, pp. 226-230, como se cita en Miñano, 2014, p. 11).

En base a esos últimos estudios, otros autores proponen para el barco de *Mazarrón 2* una datación en momentos más recientes a la fecha de mediados del siglo VII propuesta por Iván Negueruela (2004, p. 229 y p. 238; 2005b, p. 25-26). Ana Miñano (2014, p. 12) ubica el barco *Mazarrón 2* en el primer tercio del siglo VI a. C., en base a los últimos paralelos sobre el ánfora estudiados por Joan Ramón (2011), indicando que esa cronología coincide con la datación de la primera plata documentada en el yacimiento de La Fonteta. Carlos de Juan (2017b, p. 242) señala que, cruzando los datos de las dataciones radiocarbónicas publicadas por Negueruela y la clasificación tipológica del ánfora T-10121 sudibérica muy tardía de Ramón Torres, considera «prudente una datación amplia hacia el último cuarto del siglo VII a. C. o las primeras décadas del VI a. C.», más que establecer una fecha precisa.

2.2.7. Interpretación

Una vez presentados los resultados de los estudios llevados a cabo sobre el pecio de *Mazarrón 2*, tanto de su contenido (cargamento y elementos de la vida a bordo) como de su continente (el propio barco), así como las hipótesis sobre su adscripción cultural y cronológica, resumimos las conclusiones de esas investigaciones respecto a la interpretación y valoración del yacimiento del pecio *Mazarrón 2* en su entorno costero.

Iván Negueruela destaca que el pecio *Mazarrón 2* «permite conocer por primera vez la construcción naval de la primera mitad del primer milenio a. C., la navegación, la vida a bordo, el sistema de estibado y abarrotado, y el uso de anclas "construidas"… más antiguo que se conoce». Así mismo subraya que este yacimiento «documenta por primera vez y de un modo excepcional la vía marítima de la explotación del metal que los fenicios practicaron en España», hasta ese momento solo conocida por los textos clásicos. A ese respecto, considera claro que el barco no llegaba a Mazarrón, sino que salía de esa zona y plantea tres hipótesis sobre su posible destino, que se dirigiese hacia Fenicia, Cádiz o los centros mineros de Huelva, a fin de utilizar el mineral de plomo (Negueruela, 2005b, pp. 31-32). En todas sus publicaciones (Negueruela, 2004, 2005a, 2005b y 2014, entre otras), como hemos ido comentado, considera que *Mazarrón 1* y *Mazarrón 2* son dos barcos fenicios de la segunda mitad del siglo VII a. C., y, en concreto, fecha el *Mazarrón 2* a mediados del siglo VII a. C.

Los pecios de Mazarrón son considerados como los ejemplos más antiguos de una tradición indígena de construcción naval en la costa mediterránea de la península ibérica, con orígenes fenicios (Pomey, 2012; Juan, 2017b). Habrían sido construidos por carpinteros de ribera locales que conocían las innovaciones técnicas fenicias, como la *coagmenta punicana* o ensamblaje del casco con el sistema de mortajas, espigas y clavijas (Pomey y Rieth, 2005; Guerrero, 2008a y 2008b; Pomey, 2012; Juan, 2017a y 2017b). Habida cuenta de sus pequeñas dimensiones y otras características técnicas, estas embarcaciones estarían destinadas a una navegación local y comarcal (Pomey, 2012), bien en el ámbito costero lagunar y fluvial (Guerrero, 2008; Juan, 2017a) o exclusivamente lagunar (Polzer, 2009), o bien en el ámbito marítimo costeando (Fernández, Sánchez-Guitard, R., Sánchez-Guitard, A.C. *et al.*, 2013, p. 510; Miñano, 2014, p. 13).

El ancla de *Mazarrón 2* sigue siendo considerada como el ancla más antigua, fabricada en madera y con un cepo de plomo, al menos hasta el momento en el que se publican los últimos estudios, en los que se destaca que se utilizó simultáneamente con las anclas provistas de cepos líticos (Gianfrotta, 2021, p. 260). Los dos paralelos más cercanos son: el brazo de un ancla de madera localizado en el fondeadero de Liman Tepe (Klazomenai, Turquía), datado entre finales del siglo VII a. C. y principios del siglo VI (Votruba y Aztzy, 2016, p. 450), y el ancla del Ma'agan Michael (Israel), fechada en el siglo IV a. C., que apareció completa pero que solo tiene un brazo.

El cargamento del *Mazarrón 2* ha suscitado el interés de muchos investigadores que lo han incluido en sus proyectos de metalurgia, comercio de metales en la prehistoria y protohistoria o arqueominería, entre otros. Los resultados de esas investigaciones han permitido avanzar en el conocimiento del origen, producción, transporte y comercialización de este tipo de mineral de plomo semiprocesado, así como de una valoración de los actores implicados.

Respecto a la procedencia del mineral, los análisis de isótopos de plomo sugieren que el litargirio de *Mazarrón 2* y el de La Fonteta proceden de la misma zona minera, vinculable al distrito de la sierra minera de Cartagena y Mazarrón. En base a esos resultados se plantea la hipótesis de que el litargirio localizado en La Fonteta podría haber sido importado y estar en relación con el transporte de litargirio a larga distancia que consideran documentado en el pecio de *Mazarrón 2* (Renzi, Montero-Ruiz y Bode, 2009, p. 2592 y p. 2595).

A ese respecto, Brown considera que el pecio de *Mazarrón 2* puede ser la evidencia directa más temprana de la exportación de productos de plomo ibéricos, junto con el pecio del Bajo de la Campana (San Javier, Murcia) algo posterior. Comenta que ambos yacimientos atestiguan que la producción de plomo no estaba estandarizada en aquel momento en la península ibérica, y que las exportaciones de plomo podían adoptar muchas formas. Ambos barcos transportaban productos minerales de plomo, litargirio y galena respectivamente, en lugar de lingotes de plomo refinado. Brown destaca que eso es un hecho inusual, que sugiere que lo que se deseaba era el plomo o el

producto de plomo, y no simplemente la plata que contenía el mineral (Brown, 2011, p. 66 y pp. 119-120).

Para Martín Ruiz el hecho de transportar un cargamento homogéneo sugiere que se trataba de un navío que haría un trayecto directo entre el puerto de abastecimiento y su puerto de origen (Martín, 2010, p. 135).

Existen numerosos testimonios de la explotación intensiva del plomo vinculada a la obtención y refinado de plata, a finales del siglo VII e inicios del VI a. C., ya sea en centros fenicios como en instalaciones indígenas, pero relacionadas con el sistema comercial fenicio (Renzi, Rovira y Montero, 2012, p. 191; Rafel, Montero-Ruiz, Castanyer *et al.*, 2010, p. 183, citados en Miñano, 2014, p. 13). Se trataría de un sistema con poca normalización, donde no existiría todavía un control centralizado de las operaciones mineras, con numerosos centros de producción de pequeño tamaño, pequeños complejos metalúrgicos y centros de mayor tamaño y de distribución (Brown, 2011, p. 94). Este proceso se realizaría por la población indígena, pero dentro de un sistema económico al servicio de intereses fenicios, ya detectado desde los inicios de la colonización y que entra en crisis a mediados del siglo VI a. C. (Guerrero, 2008, pp. 54-59; Wagner, 2011, p. 125, citados en Miñano, 2014, p. 13).

En el entorno comarcal y local del pecio de *Mazarrón 2* hay dos enclaves costeros con instalaciones o factorías metalúrgicas: La Fonteta (Guardamar de Segura, Alicante) y Punta de Los Gavilanes (Mazarrón, Murcia), este último en una zona muy próxima a la Playa de la Isla, donde se localiza el pecio. La relación con el primer yacimiento viene dada por dos factores, la vinculación geográfica explicada anteriormente (misma procedencia del litargirio analizado en ambos yacimientos y la posibilidad de que el litargirio de La Fonteta se importara por vía marítima), así como la coincidencia temporal (el primer tercio del siglo VI) de los primeros restos de litargirio documentados en La Fonteta y la reciente datación propuesta para el barco *Mazarrón 2* (Renzi, Montero-Ruiz y Bode, 2009, p. 2594; Miñano, 2014, p. 12). Sin embargo, las instalaciones relacionadas con la obtención o aprovechamiento de la plata están documentadas en fechas más tardías, tanto en La Fonteta (mediados del siglo VI a. C) como en Punta de Los Gavilanes (primera mitad del siglo IV y siglo III a. C.). Respecto a esta última factoría, Milagros Ros supone que para los niveles correspondientes a la cronología de la embarcación, la estructura sería similar a la documentada en la zona para épocas más recientes: triturado y lavado en los cotos mineros, tostado/fusión del mineral en otros centros y última refinación en hornos como el de Punta de los Gavilanes, desde donde se redistribuiría (Ros, 2005, pp. 52-53 como se cita en Miñano, 2014, p. 12).

2.2.8. Difusión y divulgación científica

Mazarrón 2 está presente en la exposición permanente de ARQVA en diferentes niveles de información. El museo, inaugurado en 2008, se concibe como la manifestación externa del mandato de la Convención Unesco 2001. Sus objetivos y fines giran alrededor de la arqueología subacuática y la exhibición de los restos de carácter arqueológico, la mayoría de procedencia subacuática, puesto que ahí reside la singularidad de la colección del museo y completa una visión de la dinámica histórica de la península ibérica y el Mediterráneo desde el mar.

En la primera área temática, «Patrimonio Cultural Subacuático», se muestran los procesos de investigación en torno al PCS, desde la documentación previa, prospección y excavación hasta la conservación *in situ* o en el laboratorio. A través de medios audiovisuales, interactivos y experimentales, el visitante conoce cómo y con qué medios se trabaja en arqueología subacuática, cómo se investiga, qué se encuentra, qué se hace con los restos localizados (¿conservarlos *in situ* o extraerlos?), y, en ese último caso, la necesidad de su adecuada conservación que hace posible su posterior estudio, investigación y exposición, a través del trabajo de equipos pluridisciplinares (Azuar, Pérez y Castillo, 2009, p. 184). En esta zona hay una serie de boyas que invitan al público a descubrir por sí mismo las claves y los conceptos prácticos de la arqueología subacuática.

En el centro de esta área hay una maqueta a escala 1:1 del pecio *Mazarrón 2*[102] (Figura 4) que reproduce el espacio de trabajo acotado y preparado por los arqueólogos subacuáticos, con el cargamento tal y como se encontró y con la estructura de protección metálica, formada con tapas que se pueden abrir a voluntad, evitando que el resto del pecio sufra más de lo necesario y que permiten la instalación de los elementos necesarios para su registro documental, fotografía y dibujo. Se transmite al público el proceso del trabajo de excavación y documentación del pecio, en el que parte de los materiales son extraídos (el cargamento y los objetos de la vida a bordo) y otros se conservan *in situ* (el barco y el ancla). Esta maqueta sirve como instrumento de divulgación y permite visualizar su forma, dimensiones y materiales, idea que no implica una merma del rigor científico que los resultados de una actuación arqueológica subacuática debe conllevar. Esta escenografía «guía al visitante al visitante en el conocimiento de la excavación, protección, conservación e investigación histórica» del pecio *Mazarrón 2* (Azuar, Pérez y Castillo, 2009, p. 184).



Figura 4. Maqueta a escala 1:1 de Mazarrón 2 en la exposición permanente del museo. Fotografía: Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

La recreación de un espacio de trabajo con una gran mesa circular, sobre la que se coloca instrumental de laboratorio y algunos equipos de análisis, muestra la información que podemos obtener de los materiales arqueológicos a través de la arqueometría (composición, procedencia, datación, etc.). El público puede interactuar y conocer los análisis realizados a materiales del cargamento y vida a bordo de *Mazarrón 2*. La investigación, tanto en arqueología como en conservación, es una materia en continua evolución, por lo que es importante visibilizar su aplicación en ambas disciplinas. Otros profesionales, como geólogos, químicos, biólogos, entre otros, siempre que la ejerzan con una metodología adecuada, intercambien sus experiencias y conocimientos con otros colegas e instituciones nacionales e internacionales[103] y publiquen los resultados de su trabajo en revistas científicas, deben apoyar al conservador-restaurador, tal y como establece la normativa, pero en ningún caso llevar a cabo sus funciones.

Frente al laboratorio, en la vitrina «Los barcos fenicios de Mazarrón» (Figura 5) se exponen los restos del barco de época fenicia *Mazarrón 1* (la quilla, parte de las tracas y las cuadernas) y

[102] Este tipo de maqueta entra dentro de la tipología de las denominadas de vestigios arqueológicos por Vicedo (2011, p. 9), puesto que se construye tal y como ha sido hallado el pecio, sin dar lugar a interpretaciones personales.

[103] Nos referimos, por ejemplo, al trabajo que vienen desarrollando las siguientes instituciones: Art-Nuclèart (Grenoble), Römisch-Germanisches Zentralmuseum (Mainz), Museo Nacional Danés (Copenhague), Museo Nacional Suizo (Zúrich), la Oficina Estatal Sajona de Arqueología (Dresde), o el Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro (Roma), especializadas en conservación de materiales anegados y, muy especialmente, el Grupo de Trabajo de Materiales Arqueológicos Orgánicos Húmedos (WOAM) de ICOM-CC.

algunos elementos constructivos del *Mazarrón 2*: 12 tracas[104], 3 baos[105], 3 cuadernas[106], 1 lengüeta[107], 1 tapa de regala[108], 2 pasadores[109], 1 puntal[110] y 1 clavija[111], así como 8 cabos[112]. Las restantes maderas y cabos tratados se encuentran en el almacén de orgánicos del museo o sin tratar, en la cámara frigorífica de ARQVAtec, como hemos señalado en el apartado 2.2.2 de este artículo. La exposición de los restos de ambos barcos permite dar a conocer el sistema de construcción a casco previo, los sistemas de ensamblaje y las técnicas utilizadas, así como los tratamientos y técnicas aplicadas para su conservación.

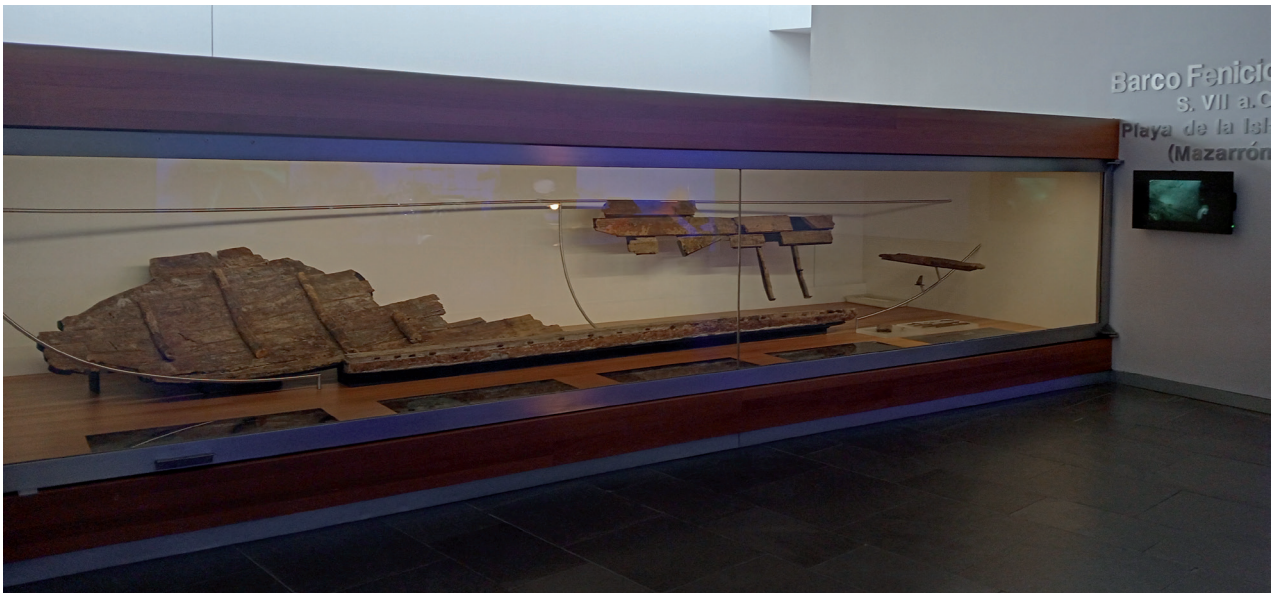


Figura 5. Vitrina «Los barcos fenicios de Mazarrón» en la exposición permanente del museo. Área temática «Patrimonio Cultural Subacuático». Fotografía: Soledad Pérez Mateo.

La segunda área temática del museo, «Mare Hibericum», muestra los resultados históricos de la investigación arqueológica, la historia vista desde el mar, como vía de comunicación e intercambio comercial, histórico y cultural, desde la época fenicia (siglo VII a. C.) hasta la época contemporánea (Azuar, Pérez y Castillo, 2009, pp. 184-185), con la incorporación en 2014 de un nuevo módulo expositivo centrado en la fragata *Nuestra Señora de las Mercedes* (Pérez, 2023, en prensa). La vitrina «Los fenicios» muestra parte del cargamento de lingotes de plomo y objetos de la vida a bordo extraídos del pecio *Mazarrón 2*, como el molino de mano, el asa de madera, fragmentos óseos y el abarrote que se dispondría encima del barco, acomodando el cargamento de lingotes[113]. En esta misma vitrina también se exponen los materiales cerámicos y metálicos procedentes del fondeadero de Playa de la Isla, donde se localizan estos barcos. En esta unidad expositiva se muestra el contexto histórico de los primeros navegantes que llegaron a la península ibérica, a través de paneles informativos y un vídeo. Así mismo, hay una mesa con una maqueta que recrea la costa del sureste con tres barcos (inspirados en los pecios de *Mazarrón 1*, *2* y el Bajo de la Campana) con elementos interactivos y juegos adaptados a diferentes

104 Inv. MZ2-2000-2, MZ2-2000-5, MZ2-2000-6, MZ2-2000-9, MZ-2000-B2-1833, MZ-2000-B2-1834, MZ-2000-B2-1837, MZ-2000-B2-1837/1, MZ-2000-B2-1838, MZ-2000-B2-1870/1, MZ-2000-B2-1870/2 y MZ-2000-B2-1870/3.
105 Inv. MZ2-2000-4, MZ2-2000-4/1 y MZ-2000-B2-1871.
106 Inv. MZ2-2000-26, MZ2-2000-27 y MZ-2000-B2-1829.
107 Inv.MZ2-2000-37.
108 Inv. MZ2-2000-13.
109 Inv. MZ-2000-B2-1821 y MZ-2000-B2-1822.
110 Inv. MZ-2000-B2-1827.
111 Inv. MZ-2000-B2-1819.
112 Inv. SN00013, SN00017/1, SN00017/2, SN00018, SN00018/1, SN00018/11, SN00019 y SN00019/1.
113 De todos estos materiales hemos solicitado los análisis descritos en el apartado 4.2 de este artículo.

niveles de comprensión. El visitante contempla en dicha maqueta una ambientación ideal de un territorio que fue un fondeadero natural protegido, en el centro de la bahía, que propició contactos comerciales entre indígenas y foráneos, asociado a rutas de intercambio mediterráneo y a la extracción de recursos minerales, sobre todo la explotación de minerales argentíferos (Ros y López, 2006, p. 93). Finalmente, unas hojas de sala a disposición del público permiten identificar los bienes vinculados a *Mazarrón 2*[114].

La pared derecha de esta sala se centra en la construcción naval y la navegación, con la exposición de cinco secciones transversales de barcos de época fenicia, griega, romana, medieval y del siglo XIX. Estas secciones de barcos son recursos táctiles que invitan al público a experimentar con las diferentes texturas, formas y objetos de las características estructurales, morfológicas y la de su cargamento. La primera sección se inspira en el barco *Mazarrón 2* (Rodríguez, 2009), una embarcación construida a casco primero, comenzando por la quilla a la que se fijan las tracas del casco mediante un sistema de ensamblaje propio de la cultura fenicia. Se trata de una serie de huecos (mortajas) que se labraban en el canto de las tablas, de modo que quedaban enfrentados a los de las tablas contiguas. Para impedir el desplazamiento longitudinal de las tablas, se introducían lengüetas en cada una de las mortajas enfrentadas, y se atravesaban con unas clavijas cilíndricas, impidiendo que se separasen lateralmente. De ese modo, resultaba imposible separar los diferentes elementos del casco, que, así construido, constituía una pieza que se comportaba mecánicamente como un todo. Tras instalar las tracas que forman el casco, se colocan las cuadernas sin tallar que se atan a las tracas del casco. Todo ello contribuye a una mejor comprensión de la arquitectura naval de la protohistoria y, en consecuencia, al conocimiento de nuestra historia en la dinámica histórica y comercial del Mediterráneo. El estudio de la construcción naval en la Antigüedad ha estado y sigue estando en buena medida marcado por un análisis excesivamente técnico (Rey, 2007). Esta situación no contribuye a sensibilizar al público sobre la importancia de conocer y proteger el PCS. No basta con justificar la extracción de un pecio en base al estudio de su sistema de construcción naval, sino que los resultados de esta investigación deben ser entendidos por el público, porque es quien da valor al patrimonio, como señalan las normas 35 y 36 del Anexo de la Convención Unesco 2001. Proyectos como el de *Mazarrón 2* demuestran la necesidad de la investigación arqueológica para evitar la destrucción de los yacimientos y la consiguiente pérdida de información sobre este patrimonio. Insistimos en que si no se vela por el interés del público y este no se incluye en las políticas de información y protección, la labor de investigación realizada en torno al pecio será de poca utilidad. Esto implica que al menos un miembro del equipo del proyecto debe tener experiencia en la difusión de la información arqueológica.

Además de formar parte de la actual exposición permanente del museo, algunos de estos materiales, como el fragmento de lingote (Inv. MZ-B2-2000-469) y el ánfora (Inv. MZ-B2-2000-1873), han sido cedidos a exposiciones temporales internacionales sobre los fenicios en París y Nueva York, como «La Méditerranée des phéniciens de Tyr à Carthago», en el Instituto del Mundo Árabe de París, 2007, y «Assyria to Iberia at the Dawn of the Classical Age», en el Museo Metropolitano de Nueva York, 2014.

El museo ha impulsado la creación de una serie de materiales audiovisuales sobre el barco *Mazarrón 2*, realizados por Diego Bravo y José Antonio Moya (Taller de Imagen de la Universidad de Alicante). La presencia de *Mazarrón 2* en festivales nacionales e internacionales permite difundir el interés a investigadores y público en general por un pecio que es un BIC y cuyo estado de conservación es extremadamente frágil porque ha perdido la mayor parte de sus componentes estructurales por disolución, además del impacto de la actividad de los microorganismos durante la fase de enterramiento.

114 Desde la inauguración del museo en 2008, la página web ha mostrado la información sobre ambos barcos.

Diego Bravo realizó un documental en soporte DVD sobre los trabajos que el museo realizó en *Mazarrón 2* en la campaña de 1999-2000 y una recreación animada con actores de la navegación del barco, en formato 16/9. Ese documental, «Barco Fenicio *Mazarrón 2*. S VII a. C.»[115], se presentó en varios festivales[116]: en la sección oficial del Festival International du Filme d'Archéologie de Besançon (Francia, 14-18 de octubre de 2009); en el Dixième Festival du Film d'Archéologie d'Amiens (Francia, 2010), donde fue seleccionado en la sección oficial; en el IX Festival Internacional de Cine Arqueológico del Bidasoa (Irún, Guipúzcoa, noviembre de 2009), donde también resultó seleccionado, así como en el XXV Rassegna Internazionale del Cinema Archeologico. International Festival of Archaeological Film (octubre de 2014).

El Taller de Imagen de la Universidad de Alicante realizó un audiovisual, «El barco fenicio de *Mazarrón 2*»[117], dirigido por José Antonio Moya, de 18 minutos de duración, que se presentó en varios festivales: la Mostra de Cinema Arqueológico (Pisa, 2008); el I Festival Internacional de Cine y Patrimonio de Murcia (junio 2009) y el IX Festival Internacional de Cine Arqueológico del Bidasoa (Irún, Guipúzcoa, noviembre 2009), donde fue galardonado con el Premio Arkeolan a la Divulgación Científica. Hay una versión más breve de dicho audiovisual, «El naufragio fenicio de Mazarrón», de 5 minutos de duración (Miñano, Fernández, Castillo *et al.**, 2011, p. 54).

Por último, no podemos olvidar la colaboración de ARQVA en la creación del Centro de Interpretación del Barco Fenicio[118] (Mazarrón, Murcia), promovido por el ayuntamiento de esa localidad. Fue inaugurado en junio de 2009 y está ubicado junto de la Playa de la Isla, en la que todavía se conserva *in situ* el barco *Mazarrón 2*. En el centro se muestra información sobre el descubrimiento y excavación de los dos barcos de época fenicia, material gráfico y audiovisual y una maqueta. Su objetivo es la puesta en valor turístico-cultural del barco, dando respuesta a la demanda del visitante sobre el pecio (Martínez Alcalde, 2009; 2017a).

Sea cual sea la actividad de difusión, es imprescindible compartir los resultados con el público (norma 35 del Anexo de la Convención Unesco 2001), de lo contrario se conduce a la destrucción progresiva del yacimiento subacuático y se pierde información, quedando nuestro conocimiento del pasado considerablemente mermado y desconectado de la realidad, especialmente cuando las investigaciones se llevan a cabo con fondos procedentes del erario público. Sensibilizar e informar sobre las actuaciones realizadas en *Mazarrón 2*, como hemos desarrollado en este estudio, es el mejor modo de fomentar la protección y conservación de estos sitios de patrimonio cultural insustituibles.

El discurso expositivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática, en torno al PCS y la procedencia de sus fondos de yacimientos arqueológicos subacuáticos, hace que incluyamos a ARQVA dentro de la categoría de museos específicamente dedicados al PCS y a la arqueología subacuática (Pérez, Castillo y Buendía, en prensa)[119]. Otros referentes internacionales de este tipo de museos son: el Museo de Arqueología Subacuática de Bodrum (Turquía), abierto al público en 1963 y que incluye la exposición de los pecios de Uluburun, de la Edad del Bronce (siglo XIV a. C.), y de Serçe Limanı, un pecio de un mercante bizantino (siglo XI d. C.); el Museo de Arqueología Subacuática Fuerte de San José —MAR-SUB— (Campeche, México) que alberga, desde 2017, colec-

---

115 Las primeras versiones de este documental se hicieron en 2004 y 2008. Esta última fue financiada en el marco del proyecto europeo «ArcheoMed. Estudio y puesta en valor del patrimonio cultural marítimo del Mediterráneo», dentro del Interreg IIIB Medocc, de desarrollo y salvaguarda del PCS del Mediterráneo. Su objetivo es promover el desarrollo y la interacción de los yacimientos, garantizando el acceso al público, para lo que se pretende poner en valor yacimientos a través del uso, entre otros, de contenidos virtuales de tipo 3D.

116 Disponible en: https://www.diegobravo.com/10-festivales/festivales.htm [Consulta: 29-08-2023].

117 Además se muestra a diario en el Museo ARQVA y puntualmente en otras instituciones como el Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid (junio 2010).

118 https://www.turismoregiondemurcia.es/es/centro_de_interpretacion/centro-de-interpretacion-del-barco-fenicio-399/ [Consulta: 07-08-2023].

119 Artículo en el que se describen las diferentes categorías de museos vinculados al PCS.

ciones de la prehistoria y la cultura maya (procedentes de cuevas y cenotes), así como de pecios de la época colonial y hallazgos de la navegación a vapor; y el Museo de las Atarazanas Reales —MAR— (Ciudad Colonial de Santo Domingo, República Dominicana), inaugurado en 2019, que invita a sumergirse en la historia de la actividad marítima a través de las colecciones procedentes de naufragios históricos ocurridos entre los siglos XV y XIX, como los pecios de *Nuestra Señora de Guadalupe* y el *Conde de Tolosa,* entre otros (Pérez, Castillo y Buendía, en prensa).

3. Conservación *in situ* vs. extracción

En este apartado mostramos cómo la extracción y la conservación *in situ* han sido alternativas defendidas o rechazadas que se han ido proponiendo a lo largo del tiempo.

3.1. Protección física del yacimiento

La conservación *in situ* del pecio *Mazarrón 2* ha sido garantizada antes, durante y después de su excavación con dos sistemas de protección pasiva: un túmulo clásico (1994-1999) y una estructura metálica de protección, conocida como «caja fuerte» (1999 hasta la actualidad). En 1994, tras su descubrimiento y una vez realizado un sondeo, los restos del barco se cubrieron con sucesivas capas de arena, malla y grava con el objetivo de salvaguardarlos de la acción del mar y de posibles expoliadores (Arellano, Barba, Gómez *et al.*, 1999, p. 222; Negueruela, Pinedo, Gómez *et al.*, 2000, p. 1674). Durante los siguientes cinco años se hizo un seguimiento periódico del túmulo y algunas deposiciones de arena para reparar los desperfectos provocados por la acción del mar y un intento de «violación» del túmulo (Negueruela, González, San Claudio *et al.*, 2004, p. 456; Negueruela, Moya, Marín *et al.*, 2004, p. 277).

A finales de 1999 el túmulo de arena fue retirado y se sustituyó por la «caja fuerte», diseñada por Negueruela y su equipo. Se trata de una estructura metálica modular compuesta de elementos fijos (bastidor rectangular de 12 x 6 m, alas perimetrales y planchas verticales) y elementos removibles en su parte superior (11 vigas transversales, 72 tapas de 1 x 1 m, pasadores de cierre). Negueruela, en dos artículos que publica en el año 2000, describe las ventajas de este sistema durante la excavación: su fácil apertura y cierre diario, quedando el pecio protegido por la noche; apertura parcial de la zona de trabajo, mientras que el resto de caja permanece cerrada y el pecio protegido; el servir de marco-soporte para la retícula de excavación, así como de apoyo para los técnicos y sus equipos; y, en general, asegurar la protección del pecio frente a los agentes naturales (oleaje y corrientes) y ante buceadores no autorizados o posibles intentos de expolio (Negueruela, 2000a, pp. 113-115 y 2000b, pp.193-194). Una finalizada la excavación, señala que el pecio se entierra, se cierra la estructura metálica y se cubre con un túmulo clásico (Negueruela, 2000a, pp. 113-115 y 2000b, pp.193-194).

Entre 2001 y 2007 se hicieron inspecciones visuales del túmulo exterior instalado sobre la estructura de protección del pecio *Mazarrón 2*, pero hasta 2008 no se volvió a abrir la caja para comprobar el estado de conservación del barco. A finales de 2007, antes de iniciar una intervención programada (de comprobación del estado de conservación del barco y de su estructura de protección), se reforzó la estructura para garantizar la seguridad del pecio durante la actuación propuesta y una vez concluida la misma.

Durante la actuación de 2009, la caja solo se abrió por completo dos jornadas para documentar y filmar el conjunto del barco; el resto del tiempo solo se abría parcialmente y se volvía a cerrar a diario (Castillo, 2009, pp. 25-26). Se comprobó que la estructura metálica de protección, al menos hasta 2008, había garantizado la preservación *in situ* del barco. No obstante, tras siete años desde su instalación, se observaron dos problemas. En primer lugar, el deterioro superficial de la estructura exterior de hierro galvanizado, ocasionado por la acción del mar, se subsanó antes de iniciar los

trabajos científicos en el barco, dando un nuevo tratamiento anticorrosivo a las vigas o bien reemplazando algunos elementos por otros nuevos (tapas y varillas de cierre).

El segundo problema detectado en 2008 resultó más preocupante, dado que se documentó «el ligero hundimiento de esta estructura metálica en el lecho marino, lo cual puede producir, en un futuro no muy lejano, que la "caja fuerte" consiga alcanzar a la estructura del barco y la destruya por aplastamiento. Paradójicamente, lo que en su momento se ideó y sirvió para proteger al pecio *Mazarrón 2*, podría ocasionar su destrucción si no se adoptan las medidas necesarias» (Miñano, Fernández, Castillo *et al.**, 2011, pp. 64-65).

En marzo de 2020, debido al hundimiento parcial de la estructura de protección constatado en 2019, la CARM y el MCD-ARQVA decidieron que era necesario acometer una serie de medidas urgentes para la estabilización de la estructura de protección del pecio *Mazarrón 2*. La pandemia de la COVID-19 hizo que la ejecución de estos estos trabajos se retrasase casi tres meses. En junio de 2020 se llevó a cabo una actuación de estabilización del cerramiento de la estructura de protección: se reforzó el perímetro de la caja fuerte, instalando 300 sacos de grava y 150 sacos de arena; se retiraron 8 de los 11 travesaños, para aligerar el peso sobre el pecio; se instaló una malla tridimensional de retención de arenas y tres barreras del tipo Jersey (Juan*, 2020b; Sierra y Castillo*, 2020).

3.2. Primeras propuestas de extracción del pecio (1995-2004)

La idea de extraer *Mazarrón 2* está presente desde 1995, tal como se refleja en dos informes de enero y febrero de ese año (Negueruela*, 1995a y 1995b). En ambos documentos, Negueruela menciona el proyecto de realizar un molde subacuático para su extracción. En el primer informe especifica que «la fragilidad de su casco» convierte «la operación de extracción, traslado y tratamiento en una fase autónoma en sí misma» para la que será necesario construir estructuras tanto subacuáticas como en tierra (1995a*, p. 4). En el segundo informe alude a la «extracción, conservación y exposición permanente [...] de los restos de los barcos, dando por sentado que los restos del cargamento (cerámica, metales, etc.) serán, en todo caso recuperados, restaurados y expuestos» en el entonces MNAM-CNIAS (1995b*, p. 2). Más adelante señala que «está previsto la realización de sendos moldes de los barcos, experiencia que hasta la fecha no se ha llevado a cabo en la arqueología subacuática en la escala que aquí se pretende. Los moldes servirán para la realización de réplicas» (1995b*, p. 4). En el año 2000 vuelve a retomar esta idea condicionando la extracción del pecio a la construcción de una nueva sede para albergarlo: «[...] lo será una vez terminado la futura sede de este Museo-Centro, cuyas obras aún no se han iniciado; por lo cual la extracción debería demorarse los años que falten para la inauguración del nuevo Museo-Centro»[120]. Dos años después, incide en la misma idea (Negueruela*, 2002a, pp. 1-2).

En 2002 el MCD envía a la CARM un estudio de viabilidad para la extracción de *Mazarrón 2* realizado por Mediterráneo Servicios Marinos S.L.[121] y solicita al director del museo, Iván Negueruela, un informe sobre la conveniencia de extraer el barco frente a la opción de dejarlo en el fondo del mar. En este informe, Negueruela (2002b*, pp. 2-4) defiende la extracción del barco en

[120] Escrito del director del museo a la directora general de Cultura de Murcia, con fecha 21/12/2000. Expediente 12/1994/01. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

[121] El informe se solicita en el fax de la subdirectora general de Museos Estatales al director del museo con fecha 2/07/2002. Nº Reg. Entrada 56. Este asunto se trata en otros documentos como la carta de la subdirectora general de Museos Estatales al director del museo, con fecha 17/06/2003. N.º Reg. Entrada 51. Expediente 12/1994/01. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática. En el Archivo del museo no hemos localizado el informe realizado por Mediterráneo Servicios Marinos S. L., que contemplaba extraer el barco en el gran paquete con la tierra que lo contenía, excavándose en los laboratorios del museo (Negueruela*, 2002b, pp. 3-4). Además, dicho fax hace referencia a un informe de 26 de junio de 2002, realizado por Negueruela y enviado al MECD, informe que tampoco hemos localizado en el Archivo del museo.

base a estas razones: a) ser una pieza de enorme importancia para la arqueología internacional debido a su antigüedad, su estado de conservación y su unicidad; b) si se deja en el fondo del mar no se puede estudiar; c) permitir a la sociedad su disfrute. Insiste en que la opción de dejarlo *in situ* es «totalmente descartable» (2002b*, p. 2). Plantea un tratamiento de conservación (impregnación y liofilización), con la duda de si tratarlo entero o partirlo en dos o tres partes, de la misma manera que se había hecho con otros barcos, puesto que «el método standard internacional es desmembrar los barcos completamente y una vez tratados proceder a reensamblarlos: Roskilde, Serçe Limani, Marsala, Ma´agan Michael, Marsella, Lelystad, etc. Idealmente hay que tender a su tratamiento en una pieza» (2002b*, p. 4).

En 2004 se señala que *Mazarrón 2* no se extrae porque no hay sitio para su instalación en el laboratorio del museo y a la espera de obtener información para trasladarla a la nueva sede del museo, en una sala específicamente construida para albergarlo (Negueruela, González, San Claudio *et al.*, 2004, p. 467), dentro de una habitación acristalada practicable (Negueruela*, 2002b, p. 4).

Ese mismo año se menciona por primera vez la idea de construir una réplica a tamaño natural si *Mazarrón 2* se decidiese no extraer por razones de seguridad (Negueruela, González, San Claudio, *et al.*, 2004, pp. 467-470), lo que se corrobora por la existencia de un informe de ese mismo año en el que el museo propone realizar réplicas en poliéster mediante moldeo de las cuadernas, tracas, baos y cabos «porque es imposible predecir el comportamiento de estos materiales en los próximos siglos»[122].

3.3. Propuestas de extracción o puesta en valor *in situ* (2008-2011)

En el año 2007, la Demarcación de Costas en Murcia del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino encarga la redacción del «Proyecto de Acondicionamiento del frente marítimo de la Playa de la Isla, T.M. Mazarrón (Murcia)» a la empresa consultora Intercontrol Levante S.A. Entre mayo y junio de ese año se mantienen reuniones entre representantes de la Demarcación y la citada empresa con Rafael Azuar, el director del entonces MNAM-CNIAS. Para facilitarles la redacción del proyecto y que la regeneración de la playa proyectada no afectase al PCS de la zona, desde el museo se les proporciona información acerca de los condicionantes arqueológicos de la zona, las cautelas arqueológicas a establecer en las actuaciones previstas para la redacción del proyecto, así como las actuaciones arqueológicas necesarias en las fases previas a la ejecución del proyecto. En otoño de 2008, en la memoria del citado proyecto, se indica que las obras de regeneración de la Playa de la Isla podrían suponer una afección severa a los restos allí depositados y se recogían las recomendaciones del museo. Se señala que, con carácter previo a cualquier actuación en la zona costera o de regeneración, se deberían llevar a cabo las siguientes actuaciones: una prospección arqueológica intensiva en la totalidad del yacimiento fenicio frente a la Playa de la Isla; contemplar la extracción del pecio fenicio conservado *in situ*; realizar el seguimiento arqueológico de las obras de excavación, dragado y relleno, y de los fondos marinos tras la ejecución de las obras (Azuar*, 2008, pp. 2-4).

Andrés Martínez (2017) señala que en ese proyecto de 2007 se plantea la necesidad de aunar requisitos medioambientales con los patrimoniales y comenta las diferentes alternativas de actuación que se presentaron para ese proyecto y la opción elegida, que era una síntesis de todas ellas.

En noviembre de 2008, Rafael Azuar remite un informe al MCU sobre el citado Proyecto de la Demarcación de Costas y la programación del museo de las intervenciones arqueológicas que habría que realizar antes de la ejecución del proyecto. El museo considera imprescindible realizar nuevas prospecciones arqueológicas con sondeos y comprobar las anomalías detectadas para descartar la

[122] Carta del director del museo a la subdirectora general de los Museos Estatales, con fecha 25/02/2004, pp. 3-4. N.º Reg. Salida 14. Expediente 12/1994/01. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

presencia de más barcos, así como la extracción del barco de época fenicia *Mazarrón 2* y de otros objetos arqueológicos localizados en su entorno. La extracción del barco se configura como el medio más seguro para garantizar su conservación, según los redactores del proyecto que indican que no se puede saber con certeza cómo se va a comportar la dinámica costera tras la regeneración de la playa. Por ello, Rafael Azuar propone que la extracción y tratamiento del barco debe ser realizada por el Museo Nacional de Arqueología Subacuática. ARQVA, e insiste en que debe planificarse cuidadosamente y con tiempo suficiente (Azuar*, 2008, pp. 4-5).

En el verano de 2009, el Consorcio Turístico de Mazarrón[123] saca a concurso la redacción de un «Estudio de alternativas para la puesta en valor y uso turístico del barco fenicio Mazarrón II y desarrollo y presentación de la alternativa elegida». Las alternativas propuestas tendrán que garantizar la conservación *in situ* de los restos del barco fenicio *Mazarrón 2* y permitir una visita turística ya sea mediante la observación del propio barco *in situ* en una urna (directamente, con pasarela de acceso o un barco turístico con posibilidad de visión submarina) o la construcción de una réplica junto al mismo que pueda ser vista (Garrido*, 2009, pp. 1-2). El museo, que no tenía conocimiento de dicha convocatoria pública, manifiesta a las instituciones implicadas lo siguiente: su malestar porque se remite a los licitadores al museo, sin que haya habido conversaciones previas ni exista convenio de colaboración con el Consorcio Turístico de Mazarrón; y, sobre todo, su preocupación porque se promuevan iniciativas como la «contemplación *in situ* del barco fenicio», opción que considera inviable por no garantizar su adecuada conservación ni ser compatible con su futura preservación y por no seguir los protocolos internacionales[124].

En junio de 2010 se adjudica el contrato a la empresa PROINTEC, SA, que cuenta con el equipo de trabajo de Manuel Martín Bueno, catedrático de la Universidad de Zaragoza. La empresa desarrolla el proyecto y presenta los resultados en tres fases: estudios previos (octubre de 2010), estudio de alternativas (diciembre de 2010) y alternativa elegida (diciembre de 2010 y febrero de 2011) (Prointec*, 2011).

Además, el Consorcio crea una comisión técnica de expertos[125] para valorar y hacer un seguimiento de las diferentes fases del proyecto, seleccionar la opción más adecuada y validar su desarrollo. En septiembre de 2010, se invita al MCU a designar su representante y se informa de ello al Museo ARQVA, aunque en ese momento no hay director en el museo. A las reuniones convocadas en 2010 y 2011, en representación del museo, acude una arqueóloga[126] por indicación de Xavier Nieto[127].

En la reunión de la comisión técnica de 20 de diciembre de 2010, la empresa adjudicataria PROINTEC y su asesor científico, Martín Bueno, presentan cuatro alternativas: conservación y musealización *in situ* (en una celda y con un pasarela o túnel de acceso); conservación y musealización fuera del mar en húmedo (en un gran acuario, junto al Centro de Interpretación de Mazarrón); conservación y musealización fuera del mar en seco (tratamiento con PEG y liofilización en ARQVA, y musealización en Cartagena o en Mazarrón); conservación *in situ* y musealización en el exterior (reconstrucción ideal del barco en la costa y réplica del pecio en el

123 Ente compuesto por la Consejería de Cultura y Turismo de la CARM y el Ayuntamiento de Mazarrón.

124 Escritos de Rafael Azuar al DG de Bellas Artes y Bienes Culturales de la CARM. 12-08-2009. RS 442; al alcalde de Mazarrón.. 12-08-2009. RS 443 y al gerente del Consorcio Turístico de Mazarrón. 12-08-2009. RS 444. Expediente 12/1994/01. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

125 Compuesta por representantes del Ayuntamiento de Mazarrón, técnicos de distintas Direcciones Generales de la CARM (Infraestructuras, Turismo, Bellas Artes y Bienes Culturales, Costas y Puertos), así como representantes de la Demarcación de Costas de Murcia y del MCU.

126 Rocío Castillo.

127 Como coordinador del Máster de Arqueología Náutica y Subacuática (Universidad de Cádiz), tras su jubilación como director del museo, asiste a las reuniones siendo uno de los asesores principales de la CARM.

mar o en la costa). Entre esas cuatro potenciales soluciones, propusieron la segunda opción como alternativa elegida (Prointec*, 2011).

En la reunión de la comisión técnica del 1 de marzo de 2011, PROINTEC explica los avances y las últimas modificaciones del proyecto. Presentan los resultados recogidos en la memoria final, que incluye todos los detalles de la alternativa elegida: la conservación y musealización del barco fuera del mar en húmedo. Señalan que «esa actuación es la que optimiza la seguridad y conservación del pecio, permitiendo su constante monitorización y control, además de suponer una notable puesta en valor y uso turístico del pecio, lo que repercutirá en un notable incremento del potencial turístico del término municipal» (Prointec*, 2011, p. 45). Para la ejecución de esa opción, las fases previstas son: extracción de la caja protectora; limpieza perimetral, preparación del izado, colocación de soportes; izado con un bastidor rígido y traslado bajo el agua hasta el puerto y transporte terrestre hasta la sala de exposición; colocación y estabilización en el tanque; y estabilización y consolidación. En la sala de exposición, el tanque tiene que ser lo suficientemente grande para que alrededor un buceador pueda controlar el estado del barco, que se colocaría sobre un lecho artificial. Además, se prevé un sistema de captación de agua de mar (a través de unas bombas y una conducción) y un reciclado del agua interior igual que en una pecera, con control de parámetros del agua y del propio pecio para monitorizar su adecuada conservación. El tanque sería de policarbonato transparente para permitir a los visitantes ver el barco (Prointec*, 2011, pp. 22-27).

3.4. Propuestas de extracción (2013-2019)

En el periodo comprendido entre 2013 y 2019, el Ayuntamiento de Mazarrón y la CARM promueven distintas reuniones en las que predominan las propuestas encaminadas a la extracción y conservación del barco *Mazarrón 2*.

En noviembre de 2013, se celebra en Mazarrón el «Congreso Internacional barco fenicio de Mazarrón. Primera reunión de trabajo internacional», impulsado por el Ayuntamiento de Mazarrón y la Universidad de Murcia, con el objetivo de generar un espacio de reflexión científica en torno a los problemas científicos y patrimoniales del conocido pecio protohistórico «Mazarrón», su conservación y puesta en valor, así como el marco arqueológico y cultural en el que se insertan, las relaciones entre el mundo indígena y la colonización fenicia[128].

Participaron técnicos de las Administraciones implicadas (Dirección General de Bienes Culturales de la CARM, Ayuntamiento de Mazarrón, MCU y Demarcación de Costas), junto a expertos y especialistas de arqueología y patrimonio subacuático. El congreso supone un punto de partida sobre los mecanismos, estrategias y acciones necesarias para la adecuada protección, investigación, recuperación y conservación del barco *Mazarrón 2*. Entre las conclusiones de este encuentro surge la idea de crear una comisión para el seguimiento de las actuaciones sobre el barco *Mazarrón 2* (Martínez Alcalde, 2017b, p. 566).

Las actas de aquel congreso y reunión de trabajo se publican en la monografía *Mazarrón II. Contexto arqueológico, viabilidad científica y perspectiva patrimonial del barco B-2 de la bahía de Mazarrón (Murcia). Homenaje a Julio Mas García* (Martínez Alcalde, García, Blánquez *et al*, 2017). La publicación se estructura en cinco apartados y consta de veintidós artículos: un libro «Azul» sobre arqueología subacuática, el caso de la bahía de Mazarrón y la costa de la Comunidad Autónoma de Murcia, con cuatro artículos generales (García y Blánquez, 2017; Martínez, 2017a; Azuar y Moya, 2017; y Martín Bueno, 2017); el patrimonio subacuático, marcos legislativo e institucional, con un artículo (Aznar, 2017); los barcos de Mazarrón I-II, circunstancias medioambientales y estudios

128 https://www.mazarron.es/export/sites/mazarron/es/turismo-cultura-deportes-y-festejos/.content/documentos/DESCARGA_AQUI_PROGRAMA_CONGRESO_INTERNACIONAL_BARCO_FENICIO.pdf [Consulta: 10/09/2023]

sobre su arquitectura naval, con cuatro artículos (Martínez Muñoz, 2017; Cabrera, 2017; Juan, 2017b; y Muñoz, 2017); el contexto arqueológico subacuático peninsular, algunos ejemplos (12 artículos); y conclusiones, con un artículo sobre la comisión de expertos (Martínez Alcalde, 2017b). En resumen, nueve artículos son específicos de Mazarrón, doce del contexto arqueológico o el mundo fenicio y uno se dedica a Julio Mas García, a quien se rinde homenaje, pero no hay ninguno dedicado a la conservación del barco. En esta monografía se optó por denominar al pecio *Mazarrón II* en lugar de *Mazarrón 2* «en favor de una numeración de larga tradición» (García y Blánquez, 2017, p. 22).

En el citado congreso solo participó un conservador-restaurador que presentó un estudio de construcción naval sobre el *Mazarrón 1*, mientras que los arqueólogos mostraron sus criterios sobre el estado de conservación del pecio *Mazarrón 2*, su extracción, tratamiento o exposición. Esto lo vemos, por ejemplo, con Martín Bueno quien señala que los restos de *Mazarrón 2* son «pequeños restos perfectamente restaurables» (2017, p. 101); o García Cano y Blánquez (2017, p. 25), quienes indican el deterioro producido por la retirada del cargamento en 1999-2000 e inciden en su extracción y conservación en seco, y en su exposición en un lugar próximo al yacimiento (2017, p. 26)[129].

En noviembre de 2014, el Ayuntamiento de Mazarrón aprueba la creación de la Comisión de expertos para el seguimiento de las actuaciones sobre el barco Mazarrón II[130] (en adelante Comisión de Seguimiento del pecio *Mazarrón 2* o Comisión de seguimiento). Martínez Alcalde (2017b, pp. 568-582) recoge la composición[131] de esa comisión y sus funciones consultivas, así como los principales acuerdos tomados en las cuatro primeras reuniones celebradas entre abril de 2015 y octubre de 2016. La comisión tiene funciones consultivas, de seguimiento y de propuesta, respecto a las actuaciones relacionadas con el barco *Mazarrón 2* y su entorno arqueológico que pueda promover el ayuntamiento de Mazarrón. La comisión asume marcar directrices, propuestas y estrategias para diseñar y desarrollar todas las iniciativas dirigidas a la investigación, conservación y puesta en valor del pecio, así como informar, proponer y coordinar los proyectos que estime idóneos (p. 569). En la primera reunión se acuerda, por unanimidad, la necesidad de recuperar y extraer la embarcación tanto por motivos de seguridad como por su propia conservación. Para ello se tiene que definir un proyecto de intervención («a determinar por especialistas en arquitectura naval y arqueología subacuática, en coordinación con restauradores especializados») y un proyecto museográfico (pp. 573-574).

La Comisión de Seguimiento encarga documentos técnicos previos (Juan y Cabrera*, 2015) o proyectos (Juan*, 2019a), de carácter teórico, que no llegan a ejecutarse. Así mismo, propone actuaciones como la realización de una prospección geofísica y sondeos (Juan*, 2018), que sí se realizan como se ha explicado en el apartado 2.1.6 de este artículo.

---

129 Llama la atención que en ese congreso no se incluyesen trabajos relativos a la extracción y conservación de barcos de características similares al *Mazarrón 2* y que, entre los expertos y especialistas participantes, solo haya un conservador-restaurador, presentando un estudio de construcción naval, además del hecho de que los arqueólogos se pronuncien sobre cuestiones y criterios de conservación, aspectos que no forman parte de su especialidad, en el marco de una deontología profesional que debe respetar las funciones de cada uno.

130 También denominada Comisión de Seguimiento de Actuaciones «Barcos de Mazarrón», en las convocatorias y actas del ayuntamiento (Martínez Alcalde, 2017b) o mencionada como Comisión Asesora del Barco *Mazarrón 2* por algunos autores (Juan*, 2018).

131 Presidente, vicepresidente y secretaria (del Ayuntamiento de Mazarrón); cuatro vocales de libre designación (por el ayuntamiento) y de reconocido prestigio vinculados a universidades, museos o arqueología subacuática; y tres representantes institucionales designados por el MCU, la Demarcación de Costas y la CARM (Martínez Alcalde, 2017b, pp. 568-569). Llama la atención que los cuatro vocales designados fuesen arqueólogos y no se incluyese a ningún conservador-restaurador, cuando todo proyecto de extracción-conservación-exposición debe estar integrado por un equipo multidisciplinar y la figura del conservador-restaurador debe ocupar un papel destacado, puesto que es el estado de conservación del pecio el que determinará toda actuación que sobre él se realice.

En febrero de 2016, Carlos de Juan y Carlos Cabrera, arqueólogo y conservador-restaurador respectivamente, presentan a la Comisión de Seguimiento el «Documento Técnico Previo para la reexcavación, extracción y conservación del pecio *Mazarrón 2*» (Juan y Cabrera*, 2015), contratado por el Ayuntamiento de Mazarrón. El documento plantea las fases del proyecto: prospección previa en Playa de la Isla; reexcavación, documentación, identificación de especies y datación; desmontaje; conservación; remontaje y réplica experimental. Para las tres primeras fases se detalla la metodología, plan de trabajo, calendario y presupuesto, así mismo incluye una valoración preliminar de las cuestiones de mayor interés para la ejecución del proyecto.

En ese trabajo se especifica que la Comisión, en la última reunión celebrada en noviembre de 2015, se pronunció sobre el método de excavación del pecio y que optó por una excavación subacuática tradicional «con el desmonte por piezas y conjunto de piezas del pecio por su sencillez, rapidez y coste económico para el contribuyente» (Juan y Cabrera*, 2015, pp. 16-17). Los autores del documento consideran oportuno presentar también el método de excavación en seco. También se apunta en este documento que: «La Comisión Científica del proyecto del barco *Mazarrón 2* acordó como proceso de conservación y tratamiento más idóneo para las maderas del barco *Mazarrón 2* la liofilización previa impregnación en PEG [...] realizar dicho proceso de conservación con personal de ARQVA o externo utilizando, en ambos casos, los medios disponibles en el laboratorio del ARQVA» (Juan y Cabrera*, 2015, p. 51).

En mayo de 2019, Carlos de Juan presenta a la Comisión de Seguimiento del pecio *Mazarrón 2* el «Proyecto de re-excavación arqueológica, desmontaje y extracción del pecio *Mazarrón 2*» (Juan*, 2019a) que es aprobado por la misma. El objetivo del proyecto es «secuenciar las fases para la correcta re-excavación arqueológica subacuática, desmonte y despiezado del pecio de época fenicia *Mazarrón 2*, para su recuperación a superficie y almacenaje en una balsa de desalación, con anterioridad al inicio de su proceso de restauración» (p. 1). La metodología planteada en el proyecto sigue los criterios establecidos por la Comisión de Seguimiento: el modo de exposición seleccionado (de la misma manera que se encuentran los restos arqueológicos en el yacimiento) sugiere el método de conservación más adecuado (liofilización y no impregnación en PEG a saturación, por la tonalidad negruzca que adquieren las maderas y porque no será necesario darles calor para restituir las formas originales); y, a su vez, «la técnica de restauración elegida» condiciona el método de extracción de la embarcación (por porciones y no en un único bloque, dadas las capacidades de los liofilizadores de los laboratorios europeos) (pp. 5-6)[132].

En dicho proyecto se plantea secuenciar las fases de desenterramiento y desmonte del pecio, reexcavando el pecio por tramos de 2,5 m de longitud aproximadamente (cuatro sectores) y teniendo como «objetivo prioritario que el desmonte del pecio sea en el menor número de porciones posibles, que puedan ser posteriormente tratadas por liofilización» (Juan*, 2019a, p. 10). En cada área reexcavada, la topografía y la documentación fotogramétrica de los lienzos permitirían «la gestión del proceso de conservación» y el posterior proceso de remontaje «como si de un puzle 3d se tratase» (Juan*, 2019a, p. 11).

En cada sector, aprovechando las roturas y las juntas arquitectónicas, el desmontaje comenzaría por las cuadernas, seguiría por las tablas del casco para concluir con el eje axial del barco (roda, quilla y codaste). En la zona central del barco se plantea sacar en un bloque la quilla, las tracas de aparadura, la carlinga y los tramos de cuaderna que pasan debajo de esa pieza. Se propone desmontar los elementos constitutivos del barco por separación mecánica de las fisuras o mediante el corte por cúter o sierra manual de pequeño formato (tipo sierra caladora de marquetería) para cortar las espigas

132 En la mesa redonda de la RIE Xavier Nieto y Giulia Boetto manifestaron estas mismas ideas, que secundaron Carlos de Juan y Juan Luis Sierra. Todos ellos coincidieron en plantear la extracción de Mazarrón 2 aprovechando las fracturas existentes y adaptándose al tamaño del liofilizador de ARQVAtec, descartando la extracción en bloque. Sus apreciaciones, al igual que las del resto de ponentes y asistentes, se pueden consultar tanto en la Memoria de la RIE (Pérez, Buendía y Castillo, 2022*, pp. 13-14) como próximamente en YouTube.

de unión entre tracas y otras piezas, así como para separar los lienzos a extraer (Juan*, 2019a, p. 14-15, 18-19).

Para la extracción de las piezas del agua se plantean distintos tipos de soportes y formas de manipulación según el tamaño de las mismas: para las piezas de pequeño formato, *taperwares* con tapa o bandejas de plástico con cama inferior de arena; para las piezas longitudinales de gran formato, soportes longitudinales hechos con tablero de pino lastrado por plomo; y para los lienzos de tracas del casco, camas con las formas del negativo de la cara exterior del barco apoyadas en bandejas de inox perforadas (de 2,5 m x 1 m). Para este último caso, se establece que cada porción de tracas no superará el metro de anchura ni los 4 m de longitud, aunque el tamaño estándar previsto es de 1 m x 2,5 m. La manipulación de los lienzos de tracas se haría de forma totalmente manual (Juan*, 2019a, pp. 19-28).

El transporte de las piezas desde el pecio a tierra también depende de las medidas de las piezas: las de pequeño formato se subirían de manera manual a la embarcación o plataforma de trabajo; las de formato grande (elementos longitudinales o porciones del casco) se desplazarían «por bajo del agua por los arqueólogos y restauradores ayudados por globos elevadores hacia la caseta de almacén temporal [...] extraídas manualmente haciendo pie por las playas para acabar depositándolas en la piscina de mantenimiento» (Juan*, 2019a, p.28). En esas piscinas de mantenimiento, ubicadas en una de las áreas de la Playa de la Isla cercana al yacimiento, las piezas no pernoctarían, estarían en ese depósito provisional hasta ser trasladadas (a diario, con un furgón) al Centro de Restauración de la Región de Murcia[133], donde estarían ubicadas las piscinas de desalación (Juan*, 2019a, pp. 28-30).

En junio de 2019, la CARM hizo público ese proyecto (Juan*, 2019a) en el Pliego de Condiciones Técnicas de la licitación[134] para la «Re-excavación arqueológica, desmontaje y extracción del pecio *Mazarrón 2*», por contrato de servicio de procedimiento abierto, y que fue adjudicada el 26/07/2019 a la empresa Archeonauta SL[135]. Sin embargo, este proyecto suscitó bastante polémica y desacuerdos entre las Administraciones públicas. Al conocer estos hechos, el director del Museo ARQVA, Iván Negueruela, elevó al MCD su protesta y oposición al proyecto licitado. A mediados del mes de agosto, tras las conversaciones mantenidas entre el ministro de Cultura y Deporte (José Guirao Cabrera) y la consejera de Educación y Cultura de Murcia (María de la Esperanza Moreno Reventós), se llega al acuerdo de que ambas Administraciones colaboren en el estudio a realizar sobre el estado de conservación actual del pecio *Mazarrón 2*[136]. Eso supone que se suspende la intervención prevista («Proyecto de re-excavación, desmontaje y extracción del pecio») y en su lugar se realiza el estudio acordado entre el MCD y la CARM («Estudio de diagnosis de las interacciones de la caja de protección sobre el pecio de época fenicia *Mazarrón 2*»). Este estudio se lleva a cabo entre el 19 de agosto y el 9 de septiembre de 2019, por la empresa Archeonauta, bajo la dirección científica de Carlos de Juan y con la presencia de dos técnicos de ARQVA, tal como se ha explicado en el apartado 2.1.6.

Los resultados de esa campaña de diagnosis fueron presentados tanto a la Comisión de expertos para el seguimiento de las actuaciones sobre el barco *Mazarrón 2* como a la Comisión Científica de Seguimiento del Plan Nacional de Protección del Patrimonio Cultural Subacuático del MCD (también conocida como Comisión del Plan Nacional de Arqueología Subacuática). Los trabajos realizados habían posibilitado ganar tiempo hasta la definitiva intervención sobre el pecio, para contemplar de forma más detallada todos los pasos del proceso y abordar la actuación, no como una intervención de urgencia, sino como un proyecto integral y con el consenso de todas las Administraciones implicadas en el mismo.

---

133 Creado en 1998, con sede en Alcantarilla (Murcia), forma parte del organigrama de la Dirección General de Bienes Culturales dependiente de la Consejería de Cultura y Portavocía de la CARM y está especializado en conservación y restauración de pintura —sobre lienzo o sobre tabla— y escultura polícroma, principalmente arte sacro.

134 Orden de 21 de junio de 2019 – *BORM* nº 145, 26/06/2019.

135 Disponible en: https://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=1618&IDTIPO=200&RASTRO=c709$m&vigente=0&id=8a2629246c2ce128016c2dedd26c07e2

136 Carta, del 21/08/2019, del director general de Bienes Culturales de la CARM al director general de Bellas Artes del MCD. Expediente 12/1994/01. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

3.5. Propuestas de conservación *in situ*/extracción (2019-2022)

El 12 de septiembre de 2019, el MCD convoca una reunión extraordinaria de la Comisión Científica de Seguimiento del Plan Nacional de Protección del Patrimonio Cultural Subacuático para valorar el «Proyecto de Re-excavación arqueológica, desmontaje y extracción del pecio *Mazarrón 2*». A continuación, se celebra una reunión entre los responsables de la Dirección General de Bienes Culturales de la CARM y de la Dirección General de Bellas Artes del MCD. En la nota de prensa (Ministerio de Cultura y Deporte* [MCD], 2019) posterior se indica que las dos Administraciones asumen la decisión adoptada por la citada Comisión de Seguimiento del Plan Nacional:

- Se comprometen a trabajar conjuntamente para garantizar la protección del pecio y redactar un proyecto integral de conservación que no excluya la extracción.
- Acuerdan realizar nuevos estudios antes de tomar una solución definitiva para la protección del pecio de *Mazarrón 2.*
- Teniendo en cuenta que en los trabajos realizados en agosto-septiembre de 2019, los expertos han constatado la cohesión estructural de la embarcación, pero advierten del deterioro progresivo que ha sufrido la caja protectora, instalada en 1999, y alertan del riesgo que podría sufrir en el futuro por la acción de los temporales. Por lo tanto, deciden que hasta que se tome una decisión definitiva, se consolidará el sistema de protección actual y se reforzará la monitorización del yacimiento para verificar que las condiciones de conservación son las idóneas en todo momento, así mismo se emprenderán acciones inmediatas para evitar que los temporales puedan deteriorar el pecio.

El 23 de diciembre de 2020, la Dirección General de Bellas Artes del MCD crea un «Grupo de Trabajo para el estudio y conservación del pecio *Mazarrón 2*»[137], cuyos objetivos principales son: analizar el estado de conservación en que se encuentra el bien; proponer medidas que aseguren su conservación a largo plazo; así como investigar, estudiar y definir, en caso de que se decidiese la extracción, un proyecto de extracción integral del pecio *Mazarrón 2*. Está integrado por cuatro miembros de las Administraciones públicas (MCD, CARM, Ayuntamiento), tres especialistas de la Comisión Asesora de Seguimiento de Actuaciones sobre los barcos de Mazarrón (creada por el Ayuntamiento de Mazarrón), tres especialistas de la Comisión de Seguimiento del Plan Nacional de Protección del Patrimonio Cultural Subacuático; tres técnicos del museo ARQVA; un ingeniero de Caminos, Canales y Puertos; ejerciendo las funciones de secretaría del Grupo dos funcionarios de las Administraciones estatal y autonómica. Las funciones del Grupo de Trabajo son informar y asesorar al MCD y la CARM, aunque, en ningún caso, sus informes y acuerdos son preceptivos ni vinculantes para las mismas.

La Dirección General de Bienes Culturales de la CARM encarga a Carlos de Juan un «Primer borrador para la redacción del Proyecto de Extracción y Conservación del pecio de época fenicia *Mazarrón 2*», que envía a los miembros del Grupo de Trabajo. En dicho borrador, tras explicar los antecedentes y comentar la sintonía del proyecto propuesto con la Convención Unesco 2001 (en referencia a la protección, el conocimiento científico y el realce del patrimonio), se incluye un índice para debatir con las otras instituciones implicadas que contiene las principales fases del proyecto: antecedentes, discusión metodológica («De cómo se expondrá, a cómo se restaurará, a cómo se extraerá»), extracción del pecio, y conservación del pecio. Por último, se propone que el proyecto cuente con una asesoría externa por parte de las universidades de Texas A&M y Marsella (Juan*, 2021a).

El 12 de febrero de 2021, la directora general de Bellas Artes del MCD, María Dolores Jiménez-Blanco, solicita al director del museo, Iván Negueruela, un informe-proyecto que contemple tres

[137] Resolución de la Dirección General de Bellas Artes del MCD, de 23/12/2020, en la que se detalla su composición y funciones.

aspectos[138]: un análisis DAFO de Conservación *in situ* de *Mazarrón 2* y su viabilidad; la viabilidad de que el proyecto de conservación, y exposición del pecio se realice en ARQVA y necesidades que habría que cubrir; así como una respuesta al proyecto de extracción planteado por Carlos de Juan (Juan*, 2021a). Para ello, Negueruela organiza a los técnicos del museo en dos grupos. Al primer grupo, formado por el químico Juan Luis Sierra y las auxiliares de museo Celia Cantero y Teresa Conesa, le encarga una propuesta de conservación *in situ*. Al segundo grupo, formado por la arqueóloga Rocío Castillo, la conservadora-restauradora Milagros Buendía y la conservadora Soledad Pérez, le encarga los otros dos informes solicitados desde el MCD (viabilidad y necesidades para acometer la conservación y exposición del pecio en ARQVA; y respuesta al proyecto presentado por la CARM, así como una propuesta de proyecto alternativo de extracción y conservación. Finalmente, el 8 de marzo de 2021, Negueruela envía al MCD tres de esos cuatro informes encargados (Sierra, Cantero y Conesa*, 2021; Buendía, Pérez, Castillo*, 2021a; 2021b), prescindiendo de enviar la propuesta de proyecto alternativo encargada al segundo grupo (Buendía, Pérez y Castillo*, 2021c). Ello se debe a que Negueruela considera que la conservación *in situ* es la única alternativa posible para asegurar la preservación del pecio, señalando que la extracción es irreversible y peligrosa. A continuación, pasamos a resumir las ideas principales de cada uno de los informes, que pueden consultarse en el Archivo del museo.

En la «Propuesta de conservación *in situ* del pecio fenicio *Mazarrón 2* en la Playa de la Isla» Sierra, Cantero y Conesa* (2021) exponen que los argumentos esgrimidos en el informe elaborado por Carlos de Juan (Juan*, 2021a) para la extracción: la inestabilidad el entorno, el deterioro del sistema de protección, la necesidad de conocimiento del pecio y su retorno a la sociedad no justifican que el pecio deba ser extraído porque «es una decisión que no tiene remedio, sin retorno, no hay posibilidad de corregir errores, como sí que la hay *in situ* (Sierra, Cantero y Conesa, 2021*, p. 12)». Esgrimen que se desconoce si actualmente el Gachero ha podido alcanzar una situación de relativo equilibrio que haría innecesaria la intervención urgente de los restos de *Mazarrón 2*, ni que la construcción del puerto deportivo haya incidido en algún momento en la evolución del mismo, por lo que no habría razones para pensar que pueda desestabilizar la dinámica litoral (Sierra, Cantero y Conesa*, 2021, pp. 13-14). Que es incierto que la estructura superior de la «caja fuerte» se haya oxidado o desaparecido y que se encuentra en buen estado de conservación y plantean realizar un reenterramiento provisional del pecio para protegerlo (Sierra, Cantero y Conesa*, 2021, p. 14). Que la necesidad de conocimiento no ha tenido en cuenta la trayectoria de investigación llevada a cabo en *Mazarrón 2* especificándola en estos estudios: análisis de especie de las maderas, realizado por Yolanda Carrión, del Centro de Investigaciones sobre Desertificación de la Universidad de Valencia (CIDE) (CSIC/UV/GV); análisis de Carbono 14 en la Universidad de Groningen de dos muestras de la posidonia que cubría el pecio, otras dos de la madera de la nave y una del abarrote que protegía la embarcación que permitieron concluir con una datación en torno a la segunda mitad del siglo VI a. C.[139]; análisis de resina empleada para impermeabilizar el casco por dentro y por fuera realizados en el IPCE[140]; estudio de degradación de la madera para determinar la humedad máxima (Umax)[141]; dibujo de desarrollo a escala 1:1 en Lexan®, que hemos mencionado con anterioridad, para el que se retiró la resina que cubría el pecio en la mitad oeste; dibujo arqueológico realizado por José R. Iborra y Manuel Izaguirre, y su digitalizacion en 2D y 3D. Tanto estos análisis como el dibujo arqueológico y digitalización en programa CAD corresponden a la campaña de 1999-2000. El resto de los estudios mencionados (fotomosaico y fotogrametría y vídeos) pertenecen a la campaña de 2007-2008. Que ese retorno a la sociedad se puede suplir con el uso de las tecnologías 3D y la realidad virtual y aumentada. Los mencionados autores concluyen que hasta la fecha no se ha presentado ningún

138 Carta de la directora general de Bellas Artes del MCD al director del museo, 12/02/2021. Archivo Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

139 Ver la nota 76 de este artículo, en la que se hace referencia a este tema, que no se encuentra en el Archivo del museo.

140 Ver la nota 82 de este artículo, en la que se hace referencia a este tema, que no se encuentra en el Archivo del museo.

141 Desconocemos los resultados de este estudio, si se refiere a *Mazarrón 1* o *2*, a qué partes del barco corresponden, dónde se realizaron y por quién, por no encontrarse en el Archivo del museo.

proyecto sólido que cumpla con la norma 10 de la Convención Unesco 2001, ni plan de financiación o cronograma de trabajo ni programa de conservación (Sierra, Cantero y Conesa*, 2021, p. 16).

En el informe denominado «En caso de decidirse la extracción, viabilidad de que el proyecto de conservación, y exposición del pecio se realice en ARQVA y necesidades que habría que cubrir en caso de llevarse a cabo dicho proyecto en el Museo Nacional de Arqueología Subacuática», Buendía, Pérez y Castillo* (2021a) defienden la conservación interrelacionada con la extracción y la exposición. Partiendo de esta premisa proponen un proyecto de conservación (antes, durante y después de la intervención arqueológica subacuática) y exposición. Señalan que es el estado de conservación del pecio el que determinará toda actuación que sobre él se realice y que es necesario organizar unas jornadas de carácter internacional, que plantearan de forma monográfica experiencias de extracción, conservación y exposición de pecios, incluyendo la ya llevada a cabo en el pecio *Mazarrón 1*, para conocer, revisar y analizar los proyectos más destacados, compartir experiencias y servir de red de contacto y colaboración (norma 8 del Anexo de la Convención Unesco 2001)[142]. Indican que de dichas jornadas podría salir la composición de un comité técnico multidisciplinar para la toma de decisiones de forma colegiada en el futuro. Por último, insisten en la necesidad de contar con especialistas de reconocido prestigio para la caracterización, interpretación y valoración del barco y su entorno, como punto de partida para la redacción del proyecto de extracción y conservación del barco *Mazarrón 2*. ARQVAtec sería el lugar indicado para su tratamiento de conservación. Plantean su exposición en ARQVA por su especialización temática y su proximidad geográfica al litoral murciano, tal y como señala el Libro Verde (2010). No se puede anteponer el potencial turístico del pecio al de su valor histórico y se preguntan hasta qué punto Mazarrón ofrecería un producto turístico sostenible y si hay estudios cuantitativos que determinen que la presencia del pecio suponga un apoyo al desarrollo del municipio[143]. El pecio debería exponerse sin restitución de las formas originales porque implica una manipulación del bien y una alteración morfológica que repercute en su estado de conservación y monitorizado desde el momento de la extracción y antes de iniciar el tratamiento de conservación, solo así el museo sería un ejemplo de investigación en conservación y potenciaría las principales actividades del museo en su investigación, conservación y protección, sin olvidar las actividades de educación y de difusión al público de los resultados del proyecto.

La idea de la conservación vinculada a una deontología profesional sigue estando presente y se refuerza en el tercer informe (Buendía, Pérez y Castillo*, 2021c), que recoge las ideas ya planteadas en el segundo informe (Buendía, Pérez y Castillo*, 2021b). Las autoras argumentan que la extracción debe hacerse en bloque o con la mínima fragmentación, con un equipo interdisciplinar de profesionales y asesorado por un comité técnico de carácter internacional, en el marco de un proyecto científico integral de extracción, conservación y exposición, cuyo objetivo prioritario sea garantizar la preservación del barco. Es necesario el respaldo de la comunidad científica nacional e internacional. Por último, subrayan que tiene que haber un compromiso de financiación a largo plazo que garantice tanto la ejecución completa de las distintas fases del proyecto de extracción, conservación y exposición como la posterior conservación del barco a perpetuidad (más allá de la inauguración de la exposición), dotar de recursos técnicos y humanos a un proyecto de

142 Un ejemplo de estas sinergias es la colaboración de ARQVA en el proyecto OptiKons, liderado por Amandine Colson. El Museo participa junto a la Foundation of Schleswig-Holstein State Museums Schloss Gottorf – Archaeological Museum – Waterlogged wood conservation laboratory, Schleswig (Alemania) y ARC-Nucléart – Research and Conservation Laboratory, Grenoble (Francia). El objetivo de OptiKons es utilizar la fotogrametría y procesado 3D antes, durante y después de la intervención arqueológica, para verificar la eficiencia de un tratamiento de conservación sobre madera anegada y permitir la monitorización de los barcos arqueológicos después de su tratamiento, en exposición, garantizando su conservación preventiva, como se hace actualmente en otros barcos tratados y expuestos, como la Coca de Bremen en el Museo Marítimo Alemán, objeto de su tesis doctoral (Colson, 2021).

143 Había una postura unánime entre los arqueólogos que participaron en el Congreso de 2013 sobre el hecho de que Mazarrón es el lugar idóneo para ubicar el pecio *Mazarrón 2* atendiendo al potencial turístico que supondría para el municipio. Los argumentos son varios: que ARQVA ya dispone de un pecio y de escaso atractivo museográfico (Martín Bueno, 2017, p. 106-107) o que el pecio debería estar expuesto en un lugar próximo al hallazgo (Blánquez y García Cano, 2017, p. 26).

esta envergadura, y respetar los plazos y los tiempos del proyecto (Buendía, Pérez y Castillo*, 2021c).

Buendía, Pérez y Castillo señalan que el proyecto de extracción planteado por Carlos de Juan y presentado por la CARM no es un proyecto integral, por lo que, el 5 de marzo de 2021, desde ARQVA se envió a la Dirección General de Bellas Artes del MCD la «Propuesta de proyecto alternativo de extracción y conservación del pecio de época fenicia *Mazarrón 2*» (Buendía, Pérez y Castillo*, 2021c). En dicho documento se revisaban proyectos similares de recuperación y conservación de barcos de dimensiones similares a las del barco *Mazarrón 2*, así mismo se proponía la celebración de unas jornadas internacionales que se materializarían en la RIE. La propuesta señalaba que cualquier proyecto de extracción tendría que priorizar su conservación, empleando métodos y alternativas de extracción que implicasen una mínima intervención[144]. Recordaba que la recuperación de una embarcación y su traslado desde el yacimiento al laboratorio de conservación y restauración constituyen dos de los momentos de mayor riesgo para el bien cultural. La metodología de extracción condicionará de manera determinante el futuro tratamiento de conservación, la investigación o cualquier otro trabajo que alrededor de él se derive. Señalaban que resulta imprescindible optimizar los recursos y realizar un seguimiento continuado del estado de conservación del pecio[145] para asegurar la trazabilidad documental del proceso, tanto de la excavación como de la conservación y su exposición.

Seis días después, el 11 de marzo de 2021, el MCD y la CARM acordaron la extracción del barco *Mazarrón 2* y su posterior tratamiento en ARQVAtec, el laboratorio de conservación y restauración de ARQVA, así como la organización de las jornadas internacionales propuestas por el museo [MCD*, 2021][146], que se detallan en el apartado siguiente.

4. Situación actual y perspectivas de futuro

4.1. La RIE en ARQVA

La RIE, celebrada entre el 5 y el 7 de mayo de 2022, constituyó una herramienta básica en la toma de decisiones ante el pecio *Mazarrón 2* y hubo distintas conclusiones, unas por consenso general entre los participantes, aunque otras no resultaron tan claras. Como síntesis de ello y a la espera de la publicación de las actas, se ha elaborado una memoria detallada (Pérez, Buendía y Castillo*, 2022) y dos artículos (Buendía, Pérez y Castillo, 2022; Castillo, Pérez y Buendía, 2022). En la RIE se acuerda la realización de nuevos estudios que determinen el estado de conservación del barco para poder decidir el procedimiento de extracción más adecuado que garantice la protección del pecio; la redacción de un proyecto integral de extracción, conservación y exposición; así como la creación de un Grupo de Trabajo para el Estudio y Extracción del pecio *Mazarrón 2*, que lo integran representantes de la Dirección General de Patrimonio Cultural de la CARM, de la

144 En sintonía con lo planteado por Zambrano: la extracción de un BIC como *Mazarrón 2* es un proyecto de conservación arqueológica, por lo que debe estar basado en criterios y normativas propias de la conservación arqueológica (Zambrano*, 2023, p. 5). No podemos olvidar las normas europeas EN 16873:2016 y UNE-EN 16853:2018, en las que se regula lo relativo al proceso de conservación, cumpliendo con la Norma 24 del Anexo de la Convención Unesco 2001, por lo que propuestas de «desmontaje» planteadas al margen de los estándares de conservación patrimonial constituyen una agresión a este BIC (Zambrano*, 2023, p. 6).

145 Esta idea de hacer una monitorización del estado de conservación de un bien cultural, en este caso, un barco arqueológico, se encuentra en la línea de la ponencia de Amandine Colson, «La conservación de los barcos arqueológicos y la importancia de su seguimiento después del tratamiento y exhibición en el museo, el ejemplo de la coca de Bremen», presentada en la RIE. Sentimos que no haya podido publicarla en esta monografía, aunque si está reflejada en su tesis doctoral (Colson, 2021). Ella coordina el grupo de trabajo europeo «Monitoring of Preserved Ships» (MoPS) liderado por la Universidad de Bamberg (Alemania). Agradecemos a Amandine Colson, conservadora-restauradora y arqueóloga, su implicación activa en los debates planteados en la RIE, así como su invitación al Museo a participar en el Proyecto OptiKons mencionado en este mismo apartado.

146 https://www.culturaydeporte.gob.es/actualidad/2021/03/extraccion-pecio-mazarron-2.html

SGGCBBCC, del Instituto de Patrimonio Cultural de España y de ARQVA (Buendía, Castillo, Pérez *et al*., 2023, en prensa). El MCD y la CARM ratificaron las dos primeras propuestas el 17 de mayo de 2022 y la tercera el 21 de junio de 2022. También designará los miembros del Comité de Expertos Internacional entre personas de reconocido prestigio profesional en el ámbito del patrimonio cultural subacuático vinculados a Unesco, ICOM-CC, museos y universidades, entre otros. Sería un grupo estable reducido, que se apoyaría en otros especialistas cuando fuera necesario.

La RIE pone de manifiesto la necesidad de continuar en la línea de los encuentros internacionales de Haifa (1999) y Estambul (2003), en los que se presentaron otros proyectos integrales de extracción y conservación de barcos de características similares al *Mazarrón 2*, mostrando la visión de conjunto que incluye la perspectiva de ambas disciplinas, que deben ir en paralelo en cualquier proyecto global de actuación arqueológica subacuática. En el caso de *Mazarrón 2*, dado su potencial científico y su condición de BIC, se hace especialmente necesario (Pérez, Buendía y Castillo*, 2022). Es la primera vez que se organiza en España un encuentro de estas características para debatir sobre la extracción de un pecio, como también es una de las primeras veces que se plantea y desarrolla un Proyecto de Estudios Previos, imprescindible antes de acometer cualquier actuación en torno a un yacimiento subacuático, y que cuenta con la participación de un equipo interdisciplinar de especialistas de reconocida trayectoria profesional (arqueólogos, conservadores-restauradores, ingenieros, químicos especialistas en ciencias de patrimonio o técnicos de museos, entre otros), como lo avalan sus publicaciones en revistas científicas de impacto.

4.2. El Proyecto de Estudios Previos

Antes de acometer una actuación arqueológica subacuática en *Mazarrón 2* es imprescindible abordar un Proyecto de Estudios Previos como fuente esencial de información para tomar cualquier decisión sobre el yacimiento en el futuro, especialmente en lo que se refiere a las actuaciones que deben guiar la extracción y conservación del pecio, así como para posteriores análisis y síntesis científicas. Presentado en septiembre de 2022, revisado y aprobado por la SGGCBBCC y la Dirección General de Patrimonio Cultural de la CARM, refleja una metodología de trabajo coordinada y que hace compatibles los criterios y necesidades de los técnicos implicados para poder involucrarlos en la conservación, garantizar su uso sostenible y esbozar una visión de futuro. En este sentido, desde el Museo ARQVA, se ha hecho especial hincapié en que no se puede condicionar la extracción (en bloque o desmontado) de un barco en función de su posible tratamiento, sino que es al revés: es el estado de conservación del barco el que determina qué tratamiento aplicar (Castillo, Pérez y Buendía, 2022), y esa información solo puede ser proporcionada tras un Proyecto de Estudios Previos. Para ello, se diseñaron unas líneas estratégicas de actuación que son asumidas conjuntamente por el MCD y la CARM y se estructuran en cuatro apartados:

1. Revisión de las fuentes bibliográficas y documentales, conservadas en el Archivo del Museo, a nivel textual y gráfico, para conocer el estado de la cuestión, actualizar y completar con los datos que faltan. Este es el objeto de estudio del artículo, en el que las autoras ofrecen una visión integral del yacimiento que permite establecer una secuencia cronológica de las actuaciones realizadas desde su descubrimiento en 1994, así como de los análisis y los estudios llevados a cabo posteriormente. Partiendo de estos antecedentes la investigación en torno al yacimiento continúa abierta, ya que en esta nueva fase seguimos analizando y recopilando los resultados de la actuación arqueológica realizada entre el 12 y el 26 de junio de 2022, de la toma de muestras de agua, sedimento y madera, así como de los análisis realizados a los bienes de *Mazarrón 2*, gran parte de los cuales se extrajeron en el año 2000, como se detalla en la Tabla 1.
2. Realización de una nueva fotogrametría y documentación subacuática del *Mazarrón 2*. Para ello, la CARM ha suscrito un convenio con la Universidad de Valencia, encargando

los trabajos a un equipo de arqueólogos, dirigidos por Carlos de Juan y Agustín Díez con la participación de José Antonio Moya. Los dos primeros, en septiembre de 2022, propusieron reexcavar el interior de la embarcación, por tercios, para que el área desenterrada fuese la menor posible, y el tiempo de exposición, el mínimo imprescindible (Juan y Díez*, 2022). Ello permitiría conocer cómo se encuentra estructuralmente desde la última actuación de 2008 y cubriría varios objetivos: realizar un mapa de daños, fundamental a la hora de estudiar y plantear la extracción, en base a su morfología estructural y estado de conservación; avanzar en el conocimiento de las técnicas de construcción naval; e implementar desde el yacimiento un programa de monitorización del estado de conservación del barco.

3. Determinación del estado de conservación del barco. El MCD coordina los trabajos relativos al estado de conservación del barco, bajo la dirección de Teresa Doménech, catedrática de Química de la Universidad Politécnica de Valencia, especialista en Ciencias de Patrimonio. Ella ha seleccionado las técnicas analíticas, diseñado la estrategia de muestreo sobre el barco, su entorno, y coordina al grupo de especialistas para su posterior estudio e interpretación de resultados. La mayor parte de los análisis corren a cargo del Proyecto I+D+i 2020 del Ministerio de Ciencia e Innovación «Aplicación de técnicas avanzadas de electroquímica de estado sólido y microscopía en el estudio de restos arqueológicos de naturaleza orgánica», con Teresa Doménech como responsable e investigadora principal y en el que ARQVA participa. El resto de analíticas serán financiadas por el MCD. La estrategia de muestreo se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4
Muestreos y análisis previstos para determinar el estado de conservación del *Mazarrón 2*

Tipo muestreo	Especialista	Institución	Objetivo
Análisis geológico del sustrato	Nuria Guasch	Geóloga. Universidad de Barcelona	Conocer la naturaleza geológica del lecho donde se asienta el barco y así diseñar la forma de extracción con las máximas garantías.
Análisis del agua y composición del sedimento	Teresa Doménech y Nuria Guasch	Catedrática de Química. Universidad Politécnica de Valencia Geóloga. Universidad de Barcelona	Establecer su posible incidencia sobre el barco, especialmente la contaminación de hierro u otros compuestos.
Datación de las maderas	Antonio Doménech	Catedrático de Química. Universidad de Valencia	Establecer su cronología.
Grado de alteración de las maderas	Teresa Doménech	Catedrática de Química. Universidad Politécnica de Valencia	Determinar su fragilidad, y diseñar el método de extracción y su posterior tratamiento.
Anatomía y determinación de la densidad de la madera[147]	María Conde García y Juan I. Fernández-Golfin Seco[148]	Instituto de Ciencias Forestales (ICIFOR)-INIA, CSIC.	Determinar la asignación taxonómica.
	David Ibarra y María Eugenia Eugenio	Instituto de Ciencias Forestales (ICIFOR)-INIA, CSIC. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, CSIC.	Establecer las propiedades físico-químicas de la madera.
Biodeterioro de la madera	Giulia Galotta y Federica Antonelli	Biólogas. Instituto Superior para la Conservación y la Restauración (Roma)	Identificar las causas del biodeterioro de la madera.

Fuente: elaboración propia.

Esta estrategia de muestreo persigue obtener la máxima información posible con el mínimo impacto para el barco y permite obtener una visión de conjunto del barco frente a los análisis parciales hechos con anterioridad, sin vinculación a un proyecto global de investigación y sin ser representativos de un conjunto.

Los técnicos del museo ARQVA[149] se han encargado de contactar con los especialistas propuestos por Teresa Doménech y realizar la gestión administrativa en coordinación con la SGGCBC.

4. Realización de pruebas con moldes subacuáticos. El MCD asume, con el apoyo del museo, la realización de pruebas con moldes subacuáticos. La metodología de extracción requiere del estudio y valoración del uso de moldes en el medio subacuático, que se realizarán en el entorno del yacimiento, con maderas modernas y también en el propio barco *Mazarrón 2*. Para ello, se cuenta con el conservador-restaurador Luis Carlos Zambrano (Museo de Cádiz), especializado en conservación de materiales arqueológicos de procedencia subacuática, y técnicas de moldeo subacuático, y el docente Marco Ciabattoni (Instituto Superior para la Conservación y la Restauración, Roma). El objetivo es testar los moldes de silicona, resinas y hojas de fibra de carbono que se aplicarían entre el barco y un molde rígido externo en el momento de la extracción.

Para el diseño del molde rígido externo, por la complejidad que entraña tanto en materiales como en cálculo de movimiento y elevación de grandes estructuras, se había previsto contar con el asesoramiento de José Antonio Hernández[150], ingeniero industrial y Profesor del Departamento de Estructuras y Construcción (Universidad Politécnica de Cartagena), que presentó una propuesta de extracción en bloque del barco *Mazarrón 2* en la RIE.

En relación al apartado 1, desde el museo se propuso una actualización de la documentación fotogramétrica de 2008, así como la caracterización y el análisis de los bienes arqueológicos recuperados de *Mazarrón 2,* principalmente en el año 2000.

---

147 De la asignación taxonómica y el grado de alteración de las maderas se iban a encargar Luis García Esteban, catedrático y director de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes Forestal y del Medio Natural de la Universidad Politécnica de Madrid, y Paloma de Palacios Pérez, profesora titular de la Universidad Politécnica de Madrid, pero, por cuestiones presupuestarias, la SGGCBBCC lo ha encomendado a personal del CSIC. Agradecemos a Luis García y Paloma de Palacios su implicación en el diseño de una estrategia de muestreo dividida en caracterización física y mecánica. La primera, referida a la cristalinidad y propiedades higroscópicas, con el objetivo de determinar la ultraestructura de la pared celular de su componente cristalino (celulosa) y las modificaciones higroscópicas sufridas por la madera sumergida, mediante la construcción de isotermas de sorción. La segunda, relativa a la identificación botánica y una caracterización de la composición química de las muestras de madera, con el objetivo de identificar las especies de las maderas del barco (quilla, sobrequilla, tracas y cuadernas) y del ancla, así como caracterizar la composición química de las muestras de maderas mediante espectroscopia infrarroja (FTIR) y análisis del grado de degradación de las maderas sumergidas en relación a su contenido de humedad máxima (Umax). Estas actuaciones se detallan en el documento «Colaboración entre el Ministerio de Cultura y Deporte y la Real Academia de Ingeniería en el Proyecto Mazarrón 2: Propuesta de actividades y presupuesto». RAI-MCyD-23002 Rev.: 1.0. Fecha 23/01/2023. Expediente 12/2022/01. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

148 Juan I. Fernández-Golfin Seco ya realizó análisis sobre maderas de *Mazarrón 1.*

149 Soledad Pérez Mateo, Rocío Castillo y Milagros Buendía, con el apoyo del director del museo, Rafael Sabio.

150 Agradecemos a José Antonio Hernández su profesionalidad e implicación y lamentamos enormemente que el esfuerzo de su trabajo no haya podido materializarse en un artículo en esta monografía, después de asumir el reto de preparar su propuesta de extracción en muy poco tiempo. Queremos señalar que su conferencia «Soportes rígidos de extracción, levantamiento, traslado y tratamiento. Tipos de materiales, diseño, optimización de recursos, sostenibilidad» en la RIE, rigurosa y bien argumentada, demostró la posibilidad de una extracción en bloque de *Mazarrón 2,* en la línea que defendemos de una mínima intervención en un BIC de esas características (Castillo, Pérez y Buendía, 2022; Buendía, Pérez y Castillo*, 2021a, b y c; Buendía, Pérez y Castillo, 2022) y debe estar basada en criterios y normativas propias de la conservación arqueológica, como señala Zambrano* (2023). Todo ello en el marco de los documentos elaborados por el Centro Europeo de Normalización a través de su Comité Técnico CEN/TC 346 dedicado a la Conservación del Patrimonio Cultural.

En 2022, a propuesta de ARQVA, la SGGCBC encargó a José Luis Casabán el reprocesado el modelo fotogramétrico del barco, que ya realizó en 2008 con los programas PhotoModeler y AutoCAD, con el fin de obtener un nuevo modelo fotogramétrico 3D con el programa Agisoft Metashape, basado en el sistema SfM (Structure from Motion) y que ha finalizado. Ello permitirá comparar con más facilidad el modelo fotogramétrico de 2008 con el 2023, para establecer con datos objetivos los posibles cambios de la estructura del barco en esos quince años. Además, Casabán ha elaborado un plano de formas del barco y un análisis hidrostático del pecio (Casabán, 2023 y 2023*).

En 2023, con el visto bueno del director del museo, Rafael Sabio, solicitamos autorización a la CARM[151] para acometer la caracterización del cargamento y de otros bienes vinculados a la vida a bordo, en el marco de una investigación global que permita poner a disposición del personal investigador los resultados, ya que los análisis efectuados con anterioridad no mostraban una visión de conjunto del barco ni los resultados se habían publicado ni contrastado. Dentro de este conjunto de materiales nos ha faltado solicitar el análisis de la posidonia que cubría el yacimiento, ya que no se ha conservado nada desde la retirada del sello de posidonia en el sondeo de 1994 y la excavación de 2000. A continuación, en la Tabla 5, detallamos el tipo de estudio que se ha solicitado en cada caso.

Tabla 5
Solicitud de estudios realizados al cargamento y a los objetos de la vida a bordo de *Mazarrón 2*, en el marco del Proyecto de Estudios Previos

Materiales	Objetivo	Especialistas
12 lingotes[152] (cargamento mineral) (Inv. 38, 137, 226, 393, 469, 692, 733, 933, 128, 1379, 1555, 1720)	Conocer la composición química y sus fases cristalinas, la procedencia geográfica y la posible incidencia en el estado de conservación del barco.	Teresa Doménech. Laboratorio de la Universidad Politécnica de Valencia
Resina[153]	Conocer la composición química.	Teresa Doménech. Laboratorio de la Universidad Politécnica de Valencia
6 cabos[154] (Inv. SN00019/32, SN00019/23, SN00017, MZ-2008-SUP-019, MZ-2000-B2-1841 y DO00004[155])	Asignación taxonómica de las fibras vegetales.	Teresa Doménech. Laboratorio de la Universidad Politécnica de Valencia
Fragmento cerámico[156] (Inv. MZ-2008-SUP-014)	Estudio mineralógico, caracterización petrográfica y química.	Miguel Ángel Cau Leandro Fantuzzi Laboratorio de Arqueología y Arqueometría del Departamento de Historia y Arqueología de la Universitat de Barcelona
Molino de mano[157] (Inv. MZ-00-V-111), compuesto por dos piezas: base (Inv. MZ-2000-B2-111) y maja (Inv. MZ-2000-B2-225)	Estudio y caracterización mineralógica y química.	Rafael Fort González. IGEO (CSIC-UCM) Mónica Álvarez del Buergo. IGEO (CSIC-UCM) Museo ARQVA Proyecto Petrophoen[158]
Material óseo[159] (Lote 14 fragmentos óseos Inv. MZ-2000-B2-1800)[160]	Determinación anatómica y de características biológicas, identificación de la especie e identificación de actividades bióticas y abióticas.	Eloísa Bernáldez Bruno Martínez Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico y Universidad Pablo de Olavide (Sevilla)

Fuente: elaboración propia.

[151] Agradecemos las facilidades dadas en la tramitación de las solicitudes a M.ª Ángeles Gómez, Jefa del Servicio de Museos y Exposiciones de la CARM, y a Javier Romera, Ayudante de Museos de la CARM.

4.3. La actuación arqueológica en *Mazarrón 2*[152153154155156157158159160]

Una vez suscrito el convenio entre la CARM y la Universidad de Valencia[161], la actuación arqueológica autorizada[162] se realizó entre el 12 y el 26 de junio. Se partía del «Proyecto de actualización de la documentación arqueológica del pecio de época fenicia *Mazarrón 2* (Murcia)», realizado por Carlos de Juan y Agustín Díez* (2022)[163]. La redacción de dicho proyecto fue contratada por la Dirección General de Patrimonio Cultural de la CARM, en virtud de las propuestas aprobadas en el grupo de trabajo sobre el pecio *Mazarrón 2* impulsado por el MCD y la Dirección General de Patrimonio Cultural de la CARM y las conclusiones de la RIE. Como director de la actuación arqueológica se propuso a Carlos de Juan, arqueólogo subacuático y especialista en arquitectura naval. Este permiso se enmarcaría además en el conjunto de actuaciones que dicho arqueólogo viene dirigiendo sobre este pecio y yacimiento. Los resultados de anteriores actuaciones, incluidas las inmersiones de seguimiento y control del estado del pecio y su estructura de protección, avalan las propuestas de intervención recogidas en el proyecto.

El equipo contratado por la CARM, a través de la Universidad de Valencia, está integrado por cinco arqueólogos (Carlos de Juan y Agustín Díez, como directores científicos, junto con Sebastián Munar, Alejandro Pérez y Stella Rendina), un ingeniero naval (Joaquín Gual de Torroella), dos

---

152 Oficio de Rafael Sabio y Soledad Pérez a Mª Ángeles Gómez solicitando la realización de análisis de 12 lingotes. 03/02/2023 RS 5. ORDEN de la Consejería de Presidencia, Turismo, Cultura, Juventud, Deportes y Portavocía por la que se autoriza la analítica y estudio de los lingotes. SME 33/2023. 03/03/2023 RE 16. Expediente 12/2022/01. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

153 Se trata de resina sin número de inventario, que se desprendió de los fragmentos de madera de *Mazarrón 2* que fueron liofilizados, desconociendo a qué parte del barco corresponden y qué fragmentos de madera son por no encontrarse la información en el Archivo del Museo.

154 Oficio de Rafael Sabio y Soledad Pérez a M.ª Ángeles Gómez, solicitando el estudio y caracterización de resina y seis cabos. 29/05/2023. RS 24. ORDEN de la Consejería de Presidencia, Turismo, Cultura, Juventud, Deportes y Portavocía por la que se autoriza la analítica de 6 fibras celulósicas de cabo y fragmentos de resina. SME 123/2023. 08/06/2023. RE 31. Expediente 12/2022/01. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

155 A la estacha le asignamos un número de inventario como fondo museográfico de titularidad autonómica (DO00004) por no disponer de número de excavación cuando se extrajo en el año 2000.

156 Oficio de Rafael Sabio y Soledad Pérez a M.ª Ángeles Gómez, solicitando la caracterización petrográfica y química, así como el estudio mineralógico del fragmento cerámico (Inv. MZ-2008-SUP-014). 23/06/2023. RS 28. ORDEN de la Consejería de Presidencia, Turismo, Cultura, Juventud, Deportes y Portavocía por la que se autoriza el traslado para analítica del fragmento cerámico. SME 139/2023. RE 40. Expediente 12/2022/01. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

157 Oficio de Rafael Sabio y Soledad Pérez a M.ª Ángeles Gómez solicitando la caracterización petrológica del molino de mano. 14/06/2023 RS 30. ORDEN de la Consejería de Presidencia, Turismo, Cultura, Juventud, Deportes y Portavocía por la que se autoriza la analítica del molino de mano. SME 140/2023. 02/07/2023. RE 31. Expediente 12/2022/01. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

158 Proyecto Petrophoen. Consejo Superior de Investigaciones Científicas - CSIC - de Grandes Infraestructuras de Investigación Europeas 2022 (INFRA20004) y Laboratorio de Petrofísica (PetroLab) del Instituto de Geociencias IGEO (CSIC-UCM).

159 Oficio de Rafael Sabio y Soledad Pérez a M.ª Ángeles Gómez solicitando el análisis de los fragmentos óseos. 04/09/2023. RS 50. Expediente 12/2022/01. ORDEN de la Consejería de Turismo, Cultura, Juventud y Deportes por la que se autoriza el estudio y traslado de los fragmentos óseos. SME 171/2023. 11/10/2023 RE 56. Expediente 12/2022/01. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

160 El lote estaba identificado con un único número de inventario desde la excavación del 2000, aun tratándose de piezas diferentes y con una determinación anatómica específica, por lo que le asignamos un número individual para cada fragmento (Inv. MZ-2000-B2-1800/01-14), ya que de esta manera se puede hacer un estudio paleobiológico y tafonómico más preciso, identificando a cada fragmento en todo momento del proceso.

161 Convenio de colaboración entre la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, a través de la Consejería de Presidencia, Turismo, Cultura, Juventud, Deportes y Portavocía y la Universitat de València, para la realización del «Proyecto de actualización de la documentación arqueológica del pecio de época fenicia Mazarrón II (Murcia)», autorizado por el Consejo de Gobierno de la CARM el 22/05/2023, suscrito el 12/06/2023 y publicado en el *BORM,* 144 de 24/06/2023.

162 Resolución de la Dirección General de Patrimonio Cultural por la que se concede permiso de actuación arqueológica programada a Carlos de Juan: «Proyecto de actualización de la documentación arqueológica del pecio de época fenicia *Mazarrón 2*», Mazarrón (Murcia). EXC 111/2023. 03/06/2023.

163 Fechado en septiembre de 2022, autorizado por la CARM y validado por el Grupo de Trabajo. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

especialistas en fotogrametría (José Antonio Moya y Abel Martín) y una conservadora-restauradora (Raquel Delgado). Además, contaron con el apoyo externo de un miembro del Grupo de Trabajo del pecio *Mazarrón 2* y arqueólogo (Gustau Vivar). Este equipo se ha hecho cargo de los siguientes trabajos: reexcavación, fotogrametría, mapa de daños, reenterramiento del barco y protección del yacimiento, etc. Así mismo tomaron muestras de cerámica y abarrote, que actualmente se encuentran en la Universidad de Valencia. Tras haber procesado la fotogrametría imprimirán un modelo 3D a escala 1:10, superpondrán el mapa de daños y propondrán un método de extracción del barco. Los resultados preliminares de esa actuación arqueológica son objeto de un artículo específico, de Carlos de Juan, en esta misma monografía.

En paralelo, el equipo del MCD, integrado por técnicos de ARQVA y especialistas externos, ha acometido otros trabajos. Milagros Buendía y Rocío Castillo[164] han tomado muestras (de agua, sedimento y madera) y apoyado a los siguientes especialistas, realizando el registro gráfico de sus trabajos (Buendía y Castillo*, 2023): Teresa Doménech, como coordinadora de la estrategia de muestreo para la caracterización del entorno y el estado de conservación del barco, responsable del análisis de agua, sedimentos y degradación de madera; Nuria Guasch en la toma de sedimentos y testeo de la potencia del sedimento; Luis Carlos Zambrano en los ensayos con moldes de silicona y resina (Zambrano*, 2023); y Marco Ciabattoni en los ensayos con molde de fibra de carbono-resinas.

Con toda esa información, los técnicos y especialistas externos implicados generarán varios documentos de trabajo, incluyendo informes del estado de conservación del barco y propuestas para su extracción, que serán valorados por el Comité de Expertos y el Grupo de Trabajo.

Con los resultados obtenidos en el Proyecto de Estudios Previos se redactará un Anteproyecto de extracción y conservación, sometido a revisión por parte del Comité de Expertos Internacional, antes de su validación por el Grupo de Trabajo. Los estudios previos resultan imprescindibles para la futura redacción del Proyecto global de investigación, extracción, conservación y difusión del barco *Mazarrón 2*, que justificará la toma de decisiones y establecerá la metodología de trabajo, en el agua y, posteriormente, en el laboratorio de conservación y restauración.

Con las consideraciones hechas a dicho anteproyecto se redactará el Proyecto de extracción y conservación definitivo. En estos momentos se estima que la extracción del barco se hará en 2024. Respecto a la conservación del barco, en marzo de 2021, la CARM y el MCD decidieron que se realizaría en ARQVAtec.

Todas estas actuaciones se enmarcan en el Protocolo General de Actuación[165] suscrito entre la Dirección General de Patrimonio Cultural y Bellas Artes del MCU y la Dirección General de Patrimonio Cultural de la CARM, en cumplimiento de las recomendaciones de la RIE y del Grupo de Trabajo, con el fin de facilitar la necesaria cooperación entre ambas partes para el estudio y definición de los proyectos de investigación integral, extracción, conservación y exposición del pecio *Mazarrón 2*.

5. Referencias bibliográficas y documentales

En este apartado incluimos las fuentes bibliográficas y documentales[166] que hacen referencia expresa a *Mazarrón 2*. La Carta Arqueológica Subacuática de la Región de Murcia[167], conservada en el

164 Cuentan con el apoyo de Soledad Pérez, conservadora, y Celia Cantero, auxiliar de museos.

165 Dicho Protocolo fue autorizado por Consejo de Gobierno en la sesión celebrada el 9 de marzo de 2023 y está disponible en el Portal de Transparencia de la CARM: https://transparencia.carm.es/wres/transparencia/doc/Consejo_Gobierno/2023-03-09/punto_06_protocolo_actuacion_pecio_fenicio_Mazarron.pdf

166 Las fuentes documentales, al ser citadas en el texto del artículo y en el apartado 5.2., se han marcado con un asterisco para diferenciarlas de las fuentes bibliográficas..

167 Expresamos nuestro agradecimiento a Celia Cantero, auxiliar de museos, por su implicación y colaboración en la normalización y en la gestión documental de la Carta Arqueológica Subacuática de la Región de Murcia y del Archivo Fotográfico del museo.

museo, ha sido fundamental para completar y mantener en revisión las actuaciones realizadas en torno a *Mazarrón 2*. El control de la información, y su gestión y difusión, permitirá un conocimiento científico compartido y un aprovechamiento científico, educativo, cultural y social. Asimismo, el Archivo del museo, con la documentación gráfica y textual que hemos ido recopilando, organizando y ordenando[168], es la mejor garantía para poner en valor el pecio. Lo que permite la programación de proyectos sobre él y sirve para facilitar programas de investigación subacuática a corto, medio y largo plazo, todo ello en el marco de una actuación integral que contemple todos los escenarios posibles, con propuestas claramente definidas.

5.1. Referencias bibliográficas

Arellano, I., Barba, S., Gómez, M., Miñano, A. I., Negueruela, I. y Pinedo, J. (1999). Proyecto Nave Fenicia: 2ª campaña. *Sextas Jornadas de Arqueología Regional. Memorias de Arqueología, 9. Murcia, del 24 al 27 abril 1995* (pp. 219-222). Murcia: Instituto de Patrimonio Histórico-Editora Regional de Murcia. https://www.patrimur.es/documents/1806272/1815077/12_Arqueologia_I.pdf

Aznar, M. J. (2017). Aspectos jurídicos de la protección in situ del patrimonio cultural subacuático (su incidencia en el caso del Mazarrón II). En M. Martínez, J. M. García, J. Blánquez y A. Iniesta (Eds.), *Mazarrón II. Contexto arqueológico, viabilidad científica y perspectiva patrimonial del barco B-2 de la bahía de Mazarrón (Murcia). En Homenaje a Julio Mas García* (pp. 133-171). Universidad Autónoma de Madrid. http://www.mazarron.es/opencms/export/sites/mazarron/es/ayuntamiento/.content/documentos/LIBRO-MAZARRON_LR.pdf

Azuar, A., Pérez, M. A. y Castillo, R. (2009). El Museo Nacional de Arqueología Subacuática. ARQVA: arqueología y patrimonio. *Drassana*, (17), pp. 176-187.

Azuar, R. y Moya, J. A. (2017). El reencuentro de Julio Mas y el ARQVA. En M. Martínez, J. M. García, J. Blánquez y A. Iniesta (Eds.), *Mazarrón II. Contexto arqueológico, viabilidad científica y perspectiva patrimonial del barco B-2 de la bahía de Mazarrón (Murcia). En Homenaje a Julio Mas García* (pp. 85-97). Universidad Autónoma de Madrid. http://www.mazarron.es/opencms/export/sites/mazarron/es/ayuntamiento/.content/documentos/LIBRO-MAZARRON_LR.pdf

Barba, J. S., Negueruela, I., Perera, J., Pinedo, J., y Roldán, B. (1999). El pecio de la Playa de la Isla, Puerto de Mazarrón (Murcia). *Quintas Jornadas de Arqueología Regional. Memorias de Arqueología*. Vol. 8. Murcia, del 9 al 12 de mayo de 1994. Murcia: Instituto de Patrimonio Histórico; Editora Regional de Murcia, pp. 196-199. http://www.patrimur.es/documents/1806272/1814999/12_MAZA.pdf

Brown, H. G. (2011). *A study of lead ingot cargoes from ancient Mediterranean shipwrecks*. Thesis of Master of Arts, no publicada. Texas A & M University. https://oaktrust.library.tamu.edu/handle/1969.1/ETD-TAMU-2011-08-10126

Buendía, M., Pérez, S. y Castillo, R. (2022). International Meeting of Experts on the extraction and conservation of the ship Mazarrón 2 (Playa de la Isla, Mazarrón, Murcia, Spain). *International Council of Museums – Committee for Conservation. WOAM Newsletter*. https://www.icom-cc.org/en/newsletters/wet-organic-archaeological-materials-newsletter-no62-september-2022.

Buendía, M., Castillo, R., Pérez, S. y Sabio, R. (en prensa). Mazarrón 2. La gestión de un Proyecto Integral de Investigación, Extracción y Conservación. *X Congreso Internacional de Estudios Fenicios y Púnicos, Ibiza (17-21 de octubre de 2022)*.

Cabrera, C. (2017). Apuntes sobre el barco de Mazarrón I: estimación de dimensiones, reconstrucción preliminar del casco, cálculos hidrostáticos, función y origen de la nave. En M. Martínez, J. M. García, J. Blánquez y A. Iniesta (Eds.), *Mazarrón II. Contexto arqueológico, viabilidad científica y perspectiva patrimonial del barco B-2 de la bahía de Mazarrón (Murcia). En Homenaje a Julio*

168 Este trabajo sólo es posible con la voluntad de trabajar en equipo, respetando las funciones de cada uno y que los técnicos del museo faciliten una copia de los trabajos que han ido realizando a lo largo del tiempo, para que se custodie en el Archivo del Museo, que no es sólo una herramienta de trabajo interna sino un instrumento que debe ser puesto a disposición del investigador interesado.

Mas García (pp. 187-228). Universidad Autónoma de Madrid. http://www.mazarron.es/opencms/export/sites/mazarron/es/ayuntamiento/.content/documentos/LIBRO-MAZARRON_LR.pdf

Cabrera, P., Pinedo, J., Roldán, B., Barba, J. S. y Perera, J. (1997). Campaña de cubrición del yacimiento subacuático de la Playa de la Isla (Mazarrón, Murcia). *Terceras Jornadas de Arqueología Regional, 4-8 de mayo de 1992. Memorias de Arqueología, vol. 6* (pp. 149-156). Instituto de Patrimonio Histórico, Editora Regional de Murcia.

Casabán, J. L. (2023). Resultados preliminares del reprocesado del modelo fotogramétrico del pecio Mazarrón 2 (2008): secciones, plano de formas y análisis hidrostático. *NANS,* (1)10.

Castillo, R. (2009). Conservación in situ de yacimientos subacuáticos. *Museos, mar y arqueología. Actas de las XII Jornadas de Museología. Museo, vol. 14. Cartagena, del 11 al 13 de diciembre de 2008* (pp. 9-41). Asociación Profesional de Museólogos de España.

Castillo, R., Pérez, S. y Buendía, M. (2022). Reunión Internacional de Expertos sobre la extracción y conservación del barco Mazarrón 2 (Playa de la Isla, Mazarrón, Región de Murcia, España). *NANS,* (0) 5.

Colson, A. (2021). *Spatial monitoring of the Bremen Cog —Long-term preservation of archaeological wooden ships in museums* [Tesis doctoral] Fakultät Geistes— und Kulturwissenschaften der Otto-Friedrich-Universität Bamberug.

Dabrio, C. J. y Polo, M. D. (1981). Dinámica litoral y evolución costera de El Puerto de Mazarrón (Murcia). *Bol. Real Soc. Española de Historia Natural (Geología),* 79, 225-234.

Dabrio, C. J. (2010). Playas. En A. Arche (Ed.), *Sedimentología: del proceso físico a la cuenca sedimentaria* (pp. 441-501). Madrid: CSIC.

Fernández, M. B. (2003). Tratamiento de restauración de un cepo de ancla fenicia de plomo procedente de la prospección subacuática, Playa de la Isla (Mazarrón, Cartagena). *Cuadernos de Arqueología Marítima*, 6, 335-340.

Fernández, F., Sánchez-Guitard, R., Sánchez-Guitard, A. C. y Sánchez-Guitard, J. A. (2013). Reconstitución del barco fenicio Mazarrón-II. Una investigación de arqueología experimental basada en la arquitectura naval y la carpintería de ribera. En: X. Nieto Prieto, A. Ramírez Pernía y P. Recio Sánchez (Eds.), *I Congreso de Arqueología Náutica y Subacuática Española*, *Cartagena 14, 15 y 16 de marzo de 2013* (pp. 500-510). Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. https://www.libreria.culturaydeporte.gob.es/libro/i-congreso-nacional-de-arqueologia-nautica-y-subacuatica-espanola_2401/

García, J. M. y Blánquez, J. (2017). El pecio de la bahía de Mazarrón y la salvaguarda del patrimonio arqueológico submarino de la costa en la Comunidad Autónoma Región de Murcia. En M. Martínez, J. M. García, J. Blánquez y A. Iniesta (Eds.), *Mazarrón II. Contexto arqueológico, viabilidad científica y perspectiva patrimonial del barco B-2 de la bahía de Mazarrón (Murcia). En Homenaje a Julio Mas García* (pp. 21-45). Universidad Autónoma de Madrid. http://www.mazarron.es/opencms/export/sites/mazarron/es/ayuntamiento/.content/documentos/LIBRO-MAZARRON_LR.pdf

García-Galán, I. (2003). Restauración de un ánfora fenicia del siglo vii a. C. aparecida en el interior del pecio Mazarrón-2. *Cuadernos de Arqueología Marítima*, 6, 341-356. https://www.libreria.culturaydeporte.gob.es/libro/cuadernos-de-arqueologia-maritima-6-2003_3463/edicion/ebook-3457/

Gianfrotta, P. A. (2021). Le «ancore d'argento» dei mercanti fenici (Diod. V 35, 4): espediente di carico e precauzione daziaria. *Aristonothos. Rivista di Studi sul Mediterraneo Antico,* (17), pp. 253-275

Gómez-Gil, C. y Sierra,, J. L. (1996). Extracción y tratamientos del barco fenicio (Barco I) de la Playa de la Isla. *Cuadernos de Arqueología Marítima,* 4, 217-225.

González, A. (Ed.). (2011). La Fonteta. Excavaciones de 1996-2002 en la colonia fenicia de la desembocadura del Río Segura (Guardamar del Segura, Alicante). *Seminario Internacional sobre temas fenicios*, vol. 1. Alicante.

Guerrero, V. (2008a). Barcos aborígenes en el Estrecho de Gibraltar. *VIII Jornadas de Historia de Ceuta. Barcos puertos y navegaciones en la historia de Ceuta* (pp. 33-65). Instituto de Estudios Ceutíes.

Guerrero, V. (2008b). Las naves de Kérné (II). Navegando por el Atlántico durante la protohistoria y la antigüedad. En R. González, F. López y V. Peña (Eds.), *Los fenicios y el Atlántico. IV Coloquio del CEFYP* (pp. 69-142). Madrid.

Juan, C. de (2017a). Técnicas de arquitectura naval de la cultura fenicia. *Spal. Revista de prehistoria y arqueología de la Universidad de Sevilla*, 26, 59-85.

Juan, C. de (2017b). Los pecios de Mazarrón y la familia arquitectónica ibérica. Los ejemplos más antiguos de la arquitectura naval indígena en la Península Ibérica. En M. Martínez, J. M. García, J. Blánquez y A. Iniesta (Eds.), *Mazarrón II. Contexto arqueológico, viabilidad científica y perspectiva patrimonial del barco B-2 de la bahía de Mazarrón (Murcia). En Homenaje a Julio Mas García* (pp. 229-254). Universidad Autónoma de Madrid. http://www.mazarron.es/opencms/export/sites/mazarron/es/ayuntamiento/.content/documentos/LIBRO-MAZARRON_LR.pdf

Juan, C. de (2014). Les épaves de Mazarrón et de Binissafúller. La tradition ibérique d'influence punico-phénicienne. *Dossiers d'archéologie*, 364, 26-33.

Marín, C. y Zambrano, L. C. (1995). Conservación preventiva. Actuaciones desarrolladas en el proyecto arqueológico "Nave Fenicia" de Mazarrón. *Cuadernos de Arqueología Marítima*, 3, 187-199. https://www.libreria.culturaydeporte.gob.es/libro/ cuadernos-de-arqueologia-maritima-de-cartagena-3o-1995_3437/

Martín, J. A. (2010). El comercio cananeo y fenicio a través del cargamento transportado en los pecios hallados en el Mediterráneo. *Revista Atlántica-Mediterránea de Prehistoria y Arqueología Social*, 12, 127-138.

Martín Bueno, M. A. (2017). Mazarrón II y la Arqueología Subacuática. En M. Martínez, J. M. García, J. Blánquez y A. Iniesta (Eds.), *Mazarrón II. Contexto arqueológico, viabilidad científica y perspectiva patrimonial del barco B-2 de la bahía de Mazarrón (Murcia). En Homenaje a Julio Mas García* (pp. 99-129). Universidad Autónoma de Madrid. http://www.mazarron.es/opencms/export/sites/mazarron/es/ayuntamiento/.content/documentos/LIBRO-MAZARRON_LR.pdf

Martínez Alcalde, M. (2009). Centro de Interpretación Barco Fenicio de Mazarrón (Murcia). *Museo: Revista de la Asociación Profesional de Museólogos de España,* 14, 311-324.

Martínez Alcalde, M. (2017a). El patrimonio arqueológico costero litoral de Mazarrón y el papel del Museo de Mazarrón como impulsor y gestor de proyectos de recuperación del patrimonio. En M. Martínez, J. M. García, J. Blánquez y A. Iniesta (Eds.), *Mazarrón II. Contexto arqueológico, viabilidad científica y perspectiva patrimonial del barco B-2 de la bahía de Mazarrón (Murcia). En Homenaje a Julio Mas García* (pp. 46-83). Universidad Autónoma de Madrid. http://www.mazarron.es/opencms/export/sites/mazarron/es/ayuntamiento/.content/documentos/LIBRO-MAZARRON_LR.pdf

Martínez Alcalde, M. (2017b). Historia de una Comisión. Seguimiento de actuaciones sobre el barco Mazarrón II. En M. Martínez, J. M. García, J. Blánquez y A. Iniesta (Eds.), *Mazarrón II. Contexto arqueológico, viabilidad científica y perspectiva patrimonial del barco B-2 de la bahía de Mazarrón (Murcia). En Homenaje a Julio Mas García* (pp. 565-585). Universidad Autónoma de Madrid. http://www.mazarron.es/opencms/export/sites/mazarron/es/ayuntamiento/.content/documentos/LIBRO-MAZARRON_LR.pdf

Martínez Alcalde, M., García, J. M., Blánquez, J. e Iniesta, A. (Eds.), *Mazarrón II. Contexto arqueológico, viabilidad científica y perspectiva patrimonial del barco B-2 de la bahía de Mazarrón (Murcia). En Homenaje a Julio Mas García*. Universidad Autónoma de Madrid. http://www.mazarron.es/opencms/export/sites/mazarron/es/ayuntamiento/.content/documentos/LIBRO-MAZARRON_LR.pdf

Martínez Alcalde M., Garrido, P., y Navarro, F. J. (2009). Centro de interpretación barco fenicio Mazarrón. *XX Jornadas de Patrimonio Cultural de la Región de Murcia* (pp. 111-117).

Martínez Muñoz, A. (2017). Problemas medioambientales versus patrimoniales en la bahía de Mazarrón (Murcia). En M. Martínez, J. M. García, J. Blánquez y A. Iniesta (Eds.), *Mazarrón II. Contexto arqueológico, viabilidad científica y perspectiva patrimonial del barco B-2 de la bahía de Mazarrón (Murcia). En Homenaje a Julio Mas García* (pp. 175-185). Universidad Autónoma de Madrid. http://www.mazarron.es/opencms/export/sites/mazarron/es/ayuntamiento/.content/documentos/LIBRO-MAZARRON_LR.pdf

Mederos, A., Chamón, J., y García, J. I. (2017). Análisis de isótopos de plomo de lingotes de estaño del pecio fenicio del Bajo de la Campana (Murcia, España). En M. Martínez, J.M. García, J. Blánquez e A. Iniesta (Eds.), *Mazarrón II. Contexto arqueológico, viabilidad científica y perspectiva patri-*

monial del barco B-2 de la bahía de Mazarrón (Murcia). En Homenaje a Julio Mas García (pp. 429-444). Universidad Autónoma de Madrid. http://www.mazarron.es/opencms/export/sites/mazarron/es/ayuntamiento/.content/documentos/LIBRO-MAZARRON_LR.pdf

Mederos, A y Ruiz, L. A. (2004). El pecio fenicio del Bajo de la Campana (Murcia, España) y el comercio del marfil norteafricano. *Zephyrus,* 57, 263-281.

Miñano, A. I. (2014). *El barco 2 de Mazarrón. La fragata Nuestra Señora de las Mercedes. Patrimonio subacuático recuperado* [Micrositio]. http://www.culturaydeporte.gob.es/fragatamercedes/dam/jcr:8af3ffff-0e26-426f-8d34-d4e5b2d273cc/barco-mazarron-2.pdf.

Miñano, A. I. y Castillo, R. (2013). Últimas campañas arqueológicas subacuáticas del Museo Nacional de Arqueología Subacuática (2011-2012). En X. Nieto Prieto, A. Ramírez Pernía y P. Recio Sánchez, *I Congreso de Arqueología Náutica y Subacuática Española*, *Cartagena 14, 15 y 16 de marzo de 2013* (pp. 923-935). Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. https://www.libreria.culturaydeporte.gob.es/libro/i-congreso-nacio-nal-de-arqueologia-nautica-y-subacuatica-espanola_2401/

Miñano, A. I., Fernández, F. y Casabán, J. L. (2012). Métodos de documentación arqueológica aplicados en arqueología subacuática: el modelo fotogramétrico y el fotomosaico del pecio fenicio Mazarrón-2 (Puerto de Mazarrón, Murcia). *Saguntum. Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia,* 44, 99-109. https://ojs.uv.es/index.php/saguntum/article/view/1683/1789

Miñano, A. I., Fernández, F. y Castillo, R. (2012). Actuaciones de comprobación del estado de conservación del barco Mazarrón 2 y de su estructura de protección. *Actas de las Jornadas de ARQVA 2011* (pp. 158-164). Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. http://es.calameo.com/read/000075335bfa5f6cd7b5e

Muñoz, J. M. (2017). La réplica del barco Mazarrón II en Málaga. En M. Martínez, J. M. García, J. Blánquez y A. Iniesta (Eds.), *Mazarrón II. Contexto arqueológico, viabilidad científica y perspectiva patrimonial del barco B-2 de la bahía de Mazarrón (Murcia). En Homenaje a Julio Mas García* (pp. 253-261). Universidad Autónoma de Madrid. http://www.mazarron.es/opencms/export/sites/mazarron/es/ayuntamiento/.content/documentos/LIBRO-MAZARRON_LR.pdf

Negueruela, I. (2000a). Protection of shipwrecks: the experience of the Spanish National Maritime Archaeological Museum. En M. Hassan, N. Grimal y D. Nakashima (Eds.), *Underwater archaeology and coastal management. Focus on Alexandria* (pp. 111-116). UNESCO.

Negueruela, I. (2000b). Managing the maritime heritage: The National Maritime Archaeological Museum and National Centre for Underwater Research, Cartagena, Spain. *The International Journal of Nautical Archaeology,* 29 (2), 179-198.

Negueruela, I. (2004). Hacia la comprensión de la construcción naval fenicia según el barco "Mazarrón-2" del siglo vii a. C. En V. Peña, C. G. Wagner y A. Mederos (Eds.), *La navegación fenicia. Tecnología naval y derroteros. Encuentro entre marinos, arqueólogos e historiadores* (pp. 227-278). Centro de Estudios Fenicios y Púnicos.

Negueruela, I. (2005a). "Coagmentapunicana" e bagli. La costruzionenavale a fasciame portante tra i fenici del vii sec. a. C. *Aequora, jam, mare... Mare, uomini e merci nel Mediterraneoantico. Atti del Convegno Internazionale* (pp. 22-41).

Negueruela, I. (2005b). Breve resumen del hallazgo y excavación de dos barcos fenicios del s. VII a. C. de Mazarrón. *Carlantum. Actas II Jornadas de Estudio sobre Mazarrón* (pp. 11-41). Mazarrón: Universidad Popular de Mazarrón, Concejalía de Cultura.

Negueruela, I. (2014). The Phoenician Ships of Mazarrón. En J. Aruz, S. B. Graff y Y. Rakic (Eds.), *Assyria to Iberia at the dawn of the Classical Age* (pp. 243-245). The Metropolitan Museum of Art.

Negueruela, I., González, R., Correa, C, Méndez, A., San Claudio, M. y Marín, C. (2000). Carta Arqueológica subacuática de la región de Murcia. I: Mazarrón. Campaña 1999. *XI Jornadas de Patrimonio Histórico y Arqueología Regional* (pp. 21-23).

Negueruela, I., González, R., San Claudio, M., Méndez A., Presa, M., y Gamboa, M. (2001). La prospección subacuática del litoral y la excavación de Mazarrón 2, en la Playa de la Isla, *XII Jornadas de Patrimonio Histórico y Arqueología Regional* (pp. 33-35).

Negueruela, I., González, R., San Claudio, M., Méndez A., Presa, M. y Gamboa, M. (2001). La prospección subacuática del litoral y la excavación de Mazarrón 2, en la Playa de la Isla. *XII Jornadas de Patrimonio Histórico y Arqueología Regional* (pp. 33-35).

Negueruela, I., González, R., San Claudio, M., Méndez A., Presa, M. y Gamboa, M. (2004). Mazarrón 2: el barco fenicio del siglo vii a. C. Campaña de noviembre-1999/marzo 2000. *El mundo púnico. Religión, antropología y cultura material. Actas II Congreso Internacional del Mundo Púnico. Estudios Orientales,* 5-6, 453-483.

Negueruela, I., Moya, A., Marín, C., Correa, C. y Pérez, M.ª A. (2004). El yacimiento fenicio de la Playa de la Isla (Mazarrón). Campaña de 1997. *Memorias de Arqueología*, 12, 273-290. http://www.patrimur.es/documents/1806272/1814993/capitulo13.pdf

Negueruela, I., Pinedo, J., Gómez, M., Miñano, A. I., Arellano, I. y Barba, J. S. (2000). Descubrimiento de dos barcos fenicios en Mazarrón (Murcia). *Actas del IV Congreso Internacional de Estudios Fenicios y Púnicos* (pp. 1671-1679). http://www.patrimur.es/documents/1806272/1814993/capitulo13.pdf

Negueruela, I., Pinedo, J., Gómez, M., Miñano, A. I., Arellano, I. y Barba, J. S. (1995). Seventh-century BC Phoenician vessel discovered at Playa de la Isla, Mazarron, Spain. *The International Journal of Nautical Archaeology,* 24(3), 189-197.

Pérez de Andrés, C. (1992). Tratamientos de conservación para madera empapada de agua. *Cuadernos de Arqueología Marítima*, 1, 47-56.

Pérez de Andrés, C. (1993). Conservación de materiales orgánicos y de arquitectura naval. *Cuadernos de Arqueología Marítima*, 2, 109-132.

Pérez de Andrés, C. (2003). La conservación del material arqueológico subacuático: el arqueólogo y el restaurador ante las primeras intervenciones. *Monte Buciero*, 9, 83-93.

Pérez, S. (2012). La gestión de la documentación en el Museo Nacional de Arqueología Subacuática. ARQVA. *Actas de las Jornadas de ARQVA 2011,* 149-157.

Pérez, S. (en prensa). *Documentar la historia de un naufragio. El caso de la fragata Nuestra Señora de las Mercedes en el Museo Nacional de Arqueología Subacuática ARQVA*.

Pérez, S. y Buendía Ortuño, M. (2022). El Programa de Conservación en un museo. Estudio de caso del Proyecto Museográfico del Museo Nacional de Arqueología Marítima y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas (Cartagena). *Ge-conservación*, 21, 177-189.

Pérez, S., Castillo, R. y Buendía, M. (en prensa). Estado de la cuestión de los museos españoles e iberoamericanos que conservan patrimonio cultural subacuático. *Actas del I Congreso Iberoamericano de Arqueología Náutica y Subacuática*. Cádiz, 20-22 octubre 2021. Universidad de Cádiz.

Pinedo Reyes, J. (1996) Inventario de yacimientos arqueológicos subacuáticos del litoral murciano, *Cuadernos de Arqueología Marítima,* 4, pp. 57-90.

Polzer, M. (2009). *Hull remains from Pabuç Burnu shipwreck and early transition in archaic greek shipbuilding*. [PhD Thesis] Texas A&M University.

Pomey, P. (2012). Le dossier de l'épave du Golo (Mariana, Haute-corse). *Archeonautica*, 17, 11- 30.

Pomey, P. y Rieth, E. (2005). *L'archéologie navale*. Paris: Errance.

Portillo, M. (2006). *La mólta i triburat d'aliments vegetals durant la Protohistoria a la Catalunya Oriental*. [Tesis doctoral] Universitat de Barcelona. http://www.tdx.cbuc.es.

Rafel, N., Montero-Ruiz, I., Castanyer, P., Aquilué, X., Armada, X., Belarte, C., Fairén, S., Gasull, P., Gener, M., Graells, R., Hunt, M., Martin, A., Mata, J., Morell, N., Pérez, A., Pons, E., Renzi, M., Rovira, C., Rovira, S., ... Villalba, P. (2010). New approaches on the archaic trade in the north-eastern Iberian peninsula: exploitation and circulation of lead and silver. *Oxford Journal of Archaeology*, 29, 2, 175-202.

Ramón Torres, J. (2008). Eivissa fenícia i les comunitats indígenas del sud-est. *Contactes. Indígenes i fenícis a la Mediterrània occidental entre els sigles VIII y VI ane. Alcanar,* 2008, pp. 39-53.

Ramón Torres, J. (2011). La cerámica fenicia del Mediterráneo extremo-occidental y del Atlántico (s. VIII-1r. 1/3 del VI a. C.). *Problemas y perspectivas actuales. Motya and the phoenician ceramic repertoire between the Levant and the West 9th - 6th century bc. Proceedings of the International Conference held in Rome,* 26th February 2010. Roma, pp. 211-253.

Renzi, M., Montero-Ruiz, I. y Bode, M. (2009). Non-ferrous metallurgy from the Phoenician site of La Fonteta (Alicante, Spain): a study of provenance. *Journal of Archaeological Science*, 36, 2584-2596.

Renzi, M., Rovira, S. y Montero, I. (2012). Riflessioni sulla metalurgia fenicia dell´argento nella Penisola Iberica. *Notizie Archeologiche Bergomensi. Acta Mineraria et Metallurgica. Studi in onore di Marco Tizzoni*, 20, 185-194.

Rey, A. (2007). Shipbuilding in the Ancient Mediterranean. Approach to a better understanding of the realtionships between ship techonology and society. *Estrat Critic: Revista d'Arqueologia*, 1, 33-43.

Rodríguez, J. (2009). Aplicaciones museográficas del dibujo arqueológico. Diseño y distribución de objetos expositivos, reproducciones y vitrinas por medio de modelos virtuales 3D. Museos, mar y arqueología. *Actas de las XII Jornadas de Museología. Cartagena, del 11 al 13 de diciembre de 2008. Asociación Profesional de Museólogos de España*, *Museo*, 14, 343-349.

Roldán, B., Frutos, B., Pinedo, J., Perera, J. y Santos, J. A. (1995). El fondeadero de la Playa de la Isla: avance preliminar. En M. Molina, J. L. Cunchillos y A. González (Coords.), *Congreso Internacional del Mundo Púnico. El mundo púnico. Historia, sociedad y cultura. Cartagena, 17-19 de noviembre de 1990* (pp. 503-516). Editora Regional de Murcia.

Ros, M. (2005). La metalurgia prerromana de la plata en el Sureste: los datos de la colonia fenicia de La Fonteta (Guardamar del Segura) y de la Bahía de Mazarrón (Murcia). *Bocamina: Museo de la ciencia y del agua* (pp. 50-58).

Ros, M. y López, F. J. (2006). La ocupación pre y protohistórica de la Punta de los Gavilanes (Puerto de Mazarrón): su aportación a la configuración del paisaje histórico de Mazarrón. Actuaciones realizadas en 2005 y proyecto de valorización. *XVII Jornadas de Patrimonio Histórico intervenciones en el patrimonio arquitectónico, arqueológico y etnográfico de la Región de Murcia*.

Sanz, M. (1980). Conservación y restauración de trece defensas de elefante procedentes del medio marino. Consideraciones metodológicas. *III Congreso de Conservación de Bienes Culturales, Valladolid, 21-23 de junio de 1980* (pp. 135-138).

Sierra, J. L. (1999). Análisis de los primeros resultados en el tratamiento del barco fenicio de la Playa de la Isla (Mazarrón), *Cuadernos de Arqueología Marítima,* 5, 51-58.

Sierra, J. L. (2001). Tratamientos de conservación de la madera arqueológica empapada de agua del Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas: últimos trabajos. En J. M. Iglesias Gil, *Actas de los XI cursos monográficos sobre el patrimonio histórico, Reinosa, julio de 2000* (pp. 205-220). Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria y Ayuntamiento de Reinosa.

Sierra, J. L. (2003). La conservación de la madera en arqueología subacuática: Museo y Centro Nacional de Investigación Arqueológicas Submarinas. *Monte Buciero*, 9, 225-266.

Sierra, J. L. (2005). La conservación de los objetos arqueológicos de naturaleza orgánica de procedencia subacuática (madera y cuerda) en el Museo Nacional de Arqueología Marítima y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas. *Boletín Arkeolan,* 13, 47-67.

Sierra, J. L. (2009). Conservación de materiales orgánicos arqueológicos empapados en agua. *Museo: Revista de la Asociación Profesional de Museólogos de España*, 14, 55-68.

Vicedo i Jover, X. (2011). *Las maquetas navales. Herramientas para el estudio y la interpretación de los naufragios arqueológicos.* Ponencia presentada con motivo de la XII Exposición Naval de la Sociedad Oceanográfica de Guipúzcoa [Archivo PDF]. https://magnolia.mecd.es/museos/dms/museos/mnarqua/investigacion/publicaciones/bn/bexvmaquetas.pdf

Votruba, G. F. y Artzy, M. (2016). An Archaic Anchor Arm from Liman Tepe/Klazomenai, Turkey. *International Journal of Nautical Archaeology*, 45, 450-457.

VV. AA. (2008). *ARQVA, Museo Nacional de Arqueología Subacuática*. Catálogo. Madrid: Subdirección General de Publicaciones, Información y Documentación.

Wagner, C. (2011). Fenicios en Tartessos: ¿Interacción o colonialismo? *BAR*, *S2245,* 119-128.

Zambrano, L. C. (1995). *Nuevo Procedimiento para la obtención de moldes subacuáticos. ES-2 119 649. Patente de Invención. España: 9501565.1995.08.95.*

Zambrano, L. C. (2000). Moldeo Subacuático de objetos arqueológicos. *PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 32, 175-182.

Zambrano, L. C. (2003). Moldeados y reproducciones: problemática bajo el agua. *Monte Buciero*, 9, 351-370.

Zambrano, L. C. (2016). *Desarrollo de técnicas de moldeo in situ con polímeros sintéticos aplicados en la conservación del patrimonio arqueológico subacuático*. Tesis doctoral. Universidad de Cádiz, Cádiz.

5.2. Fuentes documentales*

Conservadas en el Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática (Expedientes 12/1994/01 y 12/2022/01) y en la Carta Arqueológica Subacuática de la Región de Murcia.

s.a. (s.f.). *Anteproyecto de la estructura de protección*.

ARQUEOMAR* (2017). *Prospección geofísica marina de la Playa de la Isla (Mazarrón). Memoria y Planos*.

Azuar*, R. (2008). *Informe sobre el pecio de cronología fenicia Mazarrón-2 (Playa de la Isla, Mazarrón, Murcia)*. [Documento inédito de 10/11/2008, enviado al MCD].

Buendía*, M. (2003a). *Memoria sobre las actividades desarrolladas en el Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas desde Abril a Diciembre de 2003*. [Documento inédito de diciembre 2003].

Buendía*, M. (2003b). *Informe sobre el estado de conservación del cargamento de litargirio (?) del barco fenicio Mazarrón-2*. [Documento inédito de septiembre 2003].

Buendía*, M. (2003c). *Situación actual del material orgánico del Museo Nacional de Arqueología Marítima, Cartagena*. [Documento inédito de agosto 2003].

Buendía*, M. (2004a). *Estudio de conservación y restauración de un asa de madera aparecida en el interior del barco fenicio Mazarrón 2 (MZ-2000-B2-1832)*. [Documento inédito de octubre 2004, revisado en marzo de 2005].

Buendía*, M. (2004b). *Informe sobre las actividades desarrolladas en el laboratorio de restauración del Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas. Museo Nacional de Arqueología* Marítima, Cartagena. Julio-*Diciembre de 2004*. [Documento inédito de diciembre 2004].

Buendía*, M. (2005a). *Informe sobre las actividades desarrolladas en el laboratorio de restauración del Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas. Enero-Junio de 2005*. [Documento inédito de junio 2005].

Buendía*, M. (2005b). *Cálculo cronograma tratamiento material orgánico. Museo Nacional de Arqueología Marítima y Centro Nacional de Investigaciones Subacuáticas, Cartagena 2005*. [Documento inédito de noviembre 2005].

Buendía*, M. (2005c). *Reanudación del proceso de desalación de los materiales orgánicos: Espuerta B2, Ancla B2 y Fragmentos de la Estacha B2. Museo Nacional de Arqueología Marítima y Centro Nacional de Investigaciones Subacuáticas, Cartagena*. [Documento inédito de junio 2005].

Buendía*, M. (2005d). *Reanudación del proceso de desalación de los materiales orgánicos: Espuerta B2 (MZ-2000-B2-1841). Museo Nacional de Arqueología Marítima y Centro Nacional de Investigaciones Subacuáticas, Cartagena*. [Documento inédito de junio 2005].

Buendía*, M. (2006a). *Informe sobre las actividades desarrolladas en el laboratorio de restauración del Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas. Museo Nacional de Arqueología Marítima, Cartagena. Agosto 2005-Febrero 2006*. [Documento inédito de febrero 2006].

Buendía*, M. (2006b). *Informe sobre las actividades desarrolladas en el laboratorio de restauración del Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas. Museo Nacional de Arqueología Marítima, Cartagena. Abril-Agosto 2006*. [Documento inédito de agosto 2006].

Buendía, M. y Castillo*, R. (2023). *Informe sobre los estudios previos realizados en el pecio de Mazarrón 2* (junio de 2023), por parte del Museo ARQVA y los colaboradores del Ministerio de Cultura y Deporte.

Buendía, M., Pérez, S., y Castillo, R.* (2021a). *En caso de decidirse extracción, viabilidad de que el proyecto de conservación, y exposición del pecio se realice en ARQVA y necesidades que habría que*

cubrir en caso de llevarse a cabo dicho proyecto en el Museo Nacional de Arqueología Subacuática. [Documento inédito de 02/03/2021, enviado al MCD].

Buendía, M., Pérez, S., y Castillo, R.* (2021b). *Respuesta al proyecto de extracción y conservación del pecio de época fenicia Mazarrón 2, presentado por la CARM en febrero de 2021*. [Documento inédito de 04/03/2021, enviado al MCD].

Buendía, M., Pérez, S., y Castillo, R.* (2021c). *Propuesta de proyecto alternativo de extracción y conservación del pecio de época fenicia Mazarrón 2.* [Documento inédito de 05/03/2021, enviado al MCD].

Casabán*, J. L. (2008). Dossier: reconstrucción fotogramétrica del pecio fenicio B-2 del Puerto de Mazarrón. Anexo 2.3. En Miñano, Fernández, Castillo *et al*. (2011), *Memoria Final de la Actuación de comprobación del estado de conservación del Barco Mazarrón 2 y de su estructura de protección (Campaña 2007-2008)*.

Casabán*, J. L. (2023). *Resultados preliminares del reprocesado del modelo fotogramétrico del pecio Mazarrón 2 (2008): secciones, plano de formas y análisis hidrostático*. [Documento inédito de 04/2021, encargado por la Subdirección General de Gestión y Coordinación de los Bienes Culturales, MCD].

Castillo*, R. (2021a). *Informe sobre la visita realizada el 15 de julio del 2021 por un técnico del Museo Nacional de Arqueología Subacuática durante la actuación de batimetría promovida por la CARM en Mazarrón 2*. [Documento inédito de 16/07/2021, enviado al MCD y la CARM].

Castillo*, R. (2021b). *Informe sobre la visita al pecio Mazarrón 2 el 22-12-2012: observaciones sobre el estado de su estructura de protección y su entorno*. [Documento inédito de 23/12/2021, enviado al MCD y la CARM].

Castillo*, R. (2022). *Informe sobre la visita al pecio Mazarrón 2 el 03-03-2022. Observaciones sobre el estado de su estructura de protección y su entorno*. [Documento inédito de 09/03/2021, enviado al MCD y la CARM].

Castillo, R. y Buendía, M.* (2021). *Informe sobre la visita al pecio Mazarrón 2 el 10-12-2021: observaciones sobre el estado de su estructura de protección y su entorno*. [Documento inédito de 14/12/2021, enviado al MCD y la CARM].

Castillo, R. y Buendía, M.* (2022a). *Informe sobre la visita al pecio Mazarrón 2 el 30-09-2022. Observaciones sobre el estado de su estructura de protección y su entorno*. [Documento inédito de 04/10/2022, enviado al MCD y la CARM].

Castillo, R. y Buendía, M.* (2022b). *Informe sobre la visita al pecio Mazarrón 2 el 20-12-2022. Toma de muestras de agua y sedimento. Observaciones sobre el estado de su estructura de protección y su entorno*. [Documento inédito de 23/12/2022, enviado al MCD y la CARM].

Castillo, R. y Sierra J. L.* (2020). *Informe de la inspección realizada el 24 de enero del 2020 por los técnicos buceadores del Museo Nacional de Arqueología Subacuática*. [Documento inédito de 31/01/2022, enviado al MCD y la CARM].

CEDEX* (2016). *Informe técnico para el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Secretaría de Estado de Medio Ambiente, Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar Estudio de problemas específicos: Nota Técnica sobre la Playa de la Isla en el término municipal de Mazarrón (Murcia)*.

Dabrio, C. J. y Polo, M. D*. (2021). *Informe Efectos antrópicos en la dinámica litoral y en el hallazgo y preservación del pecio fenicio de la Playa de la Isla en el Puerto de Mazarrón (Murcia)*.

Fernández*, B. (2000). *Memoria explicativa de los trabajos de restauración del material arqueológico subacuático procedente de la prospección y excavación barco fenicio Mazarrón-2 de Cartagena*. [Documento inédito de 01/06/2000].

Fernández*, B. (2001). *Memoria detallada sobre las actividades desarrolladas en el Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas de Cartagena*.

Garrido*, P. (2009). *Pliego de Prescripciones Técnicas para la contratación del trabajo "Estudio de alternativas para la puesta en valor y uso turístico del barco fenicio Mazarrón II y desarrollo y presentación de la alternativa elegida"*. [Documento del Consorcio Turístico de Mazarrón, firmado el 6/05/2009 por su gerente, Pío Garrido Urbano].

Gómez, M. y García, M.* (2002). *Informe de laboratorio de química de una resina procedente de un barco fenicio. Museo de Arqueología Marítima*. [Documento inédito de 29/05/2002].

Hermanns*, M. H. (2014). *Informe sobre los resultados analíticos realizados con muestras de objetos de metal de procedencia arqueológica custodiados por el Museo Nacional de Arqueología Subacuática ARQVA*. [Documento inédito de enero de 2014].

Instituto Hidrográfico de la Marina [IHM]* (2019). *Caracterización de la dinámica litoral en la costa de Mazarrón*. [Documento inédito de octubre de 2019, realizado por la Sección de Apoyo Naval y Oceanografía del IHM].

Izaguirre*, M. (2008). Memoria sobre la intervención arqueológica en el pecio Mazarrón-2. Campaña invierno 2008, de 22/08/2008. Anexo 2.2. En Miñano, Fernández, Castillo *et al*. (2011), *Memoria Final de la Actuación de comprobación del estado de conservación del Barco Mazarrón 2 y de su estructura de protección (Campaña 2007-2008)*.

Juan*, C. de (2018). *Valoración arqueológica de los trabajos y resultados de la prospección geofísica realizada en la Playa de la Isla (Mazarrón, Murcia)*. [Documento inédito de 20/01/2018 enviado a la CARM].

Juan*, C. de (2019a). *Proyecto de re-excavación arqueológica, desmontaje y extracción del pecio Mazarrón 2*, de 10/05/2019. Publicado como Pliego de Condiciones Técnicas en el anuncio de licitación de contratación de servicios arqueológicos, con fecha 02/07/2019. Consejería de Educación y Cultura de la CARM [En línea]. https://www.carm.es/web/PDescarga?IDCONTENIDO=1618&PARAM=%3FidDocumento%3Dworkspace%3A%2F%2FSpacesStore%2Fa8556e67-e402-4803-883c-033b8465dea6%2F1.0%26fechaVersion%3D02072019103557%26descargar%3Dtrue

Juan*, C. de (2019b). *Estudio de diagnosis de las interacciones de la caja de protección sobre el pecio de época fenicia Mazarrón 2*. [Documento inédito de 09/09/2019 enviado a la CARM].

Juan*, C. de (2020a). *Inspección de la caja fuerte que protege el pecio de época fenicia Mazarrón 2. Playa de la Isla, Murcia*. [Documento inédito de 24/02/2020 enviado a la CARM].

Juan*, C. de (2020b). *Memoria de los trabajos de estabilización del cerramiento de protección del pecio Mazarrón 2. Septiembre de 2020*. [Documento inédito de 09/09/2020 enviado a la CARM].

Juan*, C. de (2020c). *Informe de la inspección del estado del cerramiento del pecio Mazarrón 2. Noviembre 2020*. [Documento inédito de 11/11/2020 enviado a la CARM].

Juan*, C. de (2020d). *Informe de la inspección del estado del cerramiento del pecio Mazarrón 2. Diciembre 2020*. [Documento inédito de 20/01/2018 enviado a la CARM].

Juan*, C. de (2021a). *Primer borrador para la redacción del Proyecto de Extracción y Conservación del pecio de época fenicia Mazarrón 2*. [Documento inédito de 10/02/2021 enviado a la CARM].

Juan*, C. de (2021b). *Informe de la inspección del estado del cerramiento del pecio Mazarrón 2. Julio-septiembre 2021*. [Documento inédito de 22/09/2021 enviado a la CARM].

Juan*, C. de (2021c). *Informe de la inspección del estado del cerramiento del pecio Mazarrón 2. Octubre-diciembre 2021*. [Documento inédito de 22/12/2021 enviado a la CARM].

Juan, C. de, y Cabrera, C.* (2015). *Documento Técnico Previo para la re-excavación, extracción y conservación del pecio Mazarrón 2*. [Documento inédito de 14/12/2015 enviado a la CARM].

Juan, C. de, y Díez, A.* (2022). *Proyecto de actualización de la documentación arqueológica del pecio de época fenicia Mazarrón 2 (Murcia)*. [Documento inédito de 12/09/2022 enviado a la CARM].

Marín*, C. (2000). *Memoria explicativa y desarrollo de los trabajos en el segundo barco fenicio de Playa de la Isla*. [Documento inédito de 01/06/2000].

Marín*, C. (2002). *Informe Mazarrón 1993-2001. Estado de la cuestión*. [Documento inédito de 18/04/2002].

Martín* de Hijas, C. (2002). *Informe: dos muestras de cordaje fenicio*. [Documento inédito de 24/06/2002].

Mendiola*, E. (2000). *Informe final de los trabajos realizados en la excavación del barco fenicio B2 de Mazarrón*. [Documento inédito de 01/08/2000].

Ministerio de Cultura y Deporte [MCD]* (2019). Cultura y Murcia acuerdan encargar nuevos estudios antes de decidir la solución definitiva para el Mazarrón II. *Nota de prensa del MCD de 12/09/2019*. http://www.culturaydeporte.gob.es/actualidad/2019/09/20190912-mazarron.html

Ministerio de Cultura y Deporte [MCD]* (2021). El Ministerio de Cultura y Deporte acuerda la extracción del pecio 'Mazarrón II' y su posterior tratamiento en el Museo Nacional de Arqueología Subacuática ARQVA de Cartagena. *Nota de prensa del MCD de 11/03/2021*. https://www.culturaydeporte.gob.es/actualidad/2021/03/extraccion-pecio-mazarron-2.html

Miñano*, A. I. (2012). Informe de la inspección realizada en Playa de la Isla, Puerto de Mazarrón, el 12-09-2012. En: Nieto, Castillo y Miñano (2013), *Informes-memoria de las actuaciones de prospección, supervisión e inspecciones técnicas arqueológicas subacuáticas en la Región de Murcia del 2012*.

Miñano, A. I., Fernández, F., Castillo, R. y Pérez, M. A.* (2011). *Memoria Final de la Actuación de comprobación del estado de conservación del Barco Mazarrón 2 y de su estructura de protección (Campaña 2007-2008). Memoria inédita, enviado a la CARM.*

Miñano, A. I. y Munuera, D.* (2014). *Informe sobre visita realizada al yacimiento de Playa de la Isla*. [Documento inédito de 05/08/2014].

Moya, J. A. y Miralles, J. S.* (2008). Memoria. Realización de las fotografías submarinas de detalle de la arquitectura naval del pecio Mazarrón II. Anexo 2.4. En Miñano, Fernández, Castillo *et al*. (2011), *Memoria Final de la Actuación de comprobación del estado de conservación del Barco Mazarrón 2 y de su estructura de protección (Campaña 2007-2008)*.

Navarro*, J. V. (2002). *Análisis de una muestra de mineral de la carga de un barco fenicio*. [Documento inédito de 24/09/2002].

Navarro*, J. V. (2003). *Análisis de una muestra de mineral de la carga de un barco fenicio. (Revisión de los datos obtenidos en el informe de fecha 24-9-2002)*. [Documento inédito de 17/06/2003].

Negueruela*, I. (1995a). *Informe de actuación del Proyecto Nave Fenicia*. [Documento inédito de 11/01/1995 enviado a la SGME del MCD].

Negueruela*, I. (1995b). *Informe que presenta a la Subdirección General de Museos el director del Museo y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas sobre el desarrollo inmediato del Proyecto Nave Fenicia. Mazarrón*. [Documento inédito de 17/02/1995].

Negueruela*, I. (1999). *Memoria resumen de las actividades realizadas por el CNIAS y su museo durante el ejercicio de 1999.*

Negueruela*, I. (2000a). *Nota para la prensa. El barco fenicio del siglo VII a. C. descubierto en Playa de la Isla (Mazarrón)*. [Documentación entregada a los medios de comunicación (textos o imágenes gráficas) de 16/11/2000].

Negueruela*, I. (2000b). *Memoria del año 2000 presentada por el director facultativo D. Iván Negueruela Martínez. MNAM-CNIAS*.

Negueruela*, I. (2001). *Memoria del año 2001 presentada por el director facultativo D. Iván Negueruela Martínez. MNAM-CNIAS*.

Negueruela*, I. (2002a). *Carta-informe sobre el nuevo museo.* [Documento inédito de 05/01/2002 enviado al MCD].

Negueruela*, I. (2002b). *Informe Sobre el futuro del pecio fenicio conocido como Mazarrón 2*. [Documento inédito de 16/07/2002 enviado al MCD].

Negueruela*, I. (2004). *Carta-informe sobre la situación del museo*. [Documento inédito de 25/02/2004 enviado al MCD].

Negueruela, I, Sierra, J. L. y Castillo, R.* (2019). *Informe que eleva al director general de Bellas Artes del Ministerio el director del Museo Nacional de Arqueología Subacuática don Iván Negueruela Martínez sobre el estado del pecio Mazarrón 2 y de su estructura de protección (caja fuerte). Agosto-septiembre de 2019*. Informe inédito de 09/09/2019, remitido al MCD y a la CARM. [Incluye un informe de la inspección realizada por los técnicos y una recapitulación del director].

Pérez, S., Buendía, M. y Castillo, R.* (2022). *Memoria de la Reunión Internacional de Expertos sobre la extracción y conservación del barco Mazarrón 2, Museo Nacional de Arqueología Subacuática ARQVA. 5, 6 y 7 de mayo de 2022*. [Documento inédito de 13/06/2002 solicitado por el MCD].

PROINTEC* (2011). *Estudio de Alternativas para la Puesta en Valor y Uso Turístico del Barco Fenicio Mazarrón II y Desarrollo y Presentación de la Alternativa Elegida. Fases I-II-III. Desarrollo y Presentación de la Alternativa Elegida. Memoria final.* [Documento redactado para el Consorcio Turístico de Mazarrón, de febrero de 2011].

Rusillo Díaz-Obregón, J.* (2019). *Exploración realizada con sondador multihaz durante la campaña hidrográfica en aguas costeras de Murcia. Informe n*úm. 16/19, de 18/12/2019, del Comandante del B.H. Malaspina al Comandante-Director del IHM.

San Claudio*, M. (1999). *Memoria final de las tareas realizadas en el Museo Nacional de Arqueología Marítima*.

Sánchez-Guitard* López Valera, A. C. (2013). *Ecomuseo Astilleros Nereo. Réplica fenicia Mazarrón II: Un Proyecto de Arqueología Naval Experimental en Carpintería de Ribera*. [Documento inédito de 10/04/2013].

Sierra*, J. L. (2010). *Informe de la situación actual del laboratorio de maderas. Relación de trabajos desarrollados desde 2008. Planificación de nuevos proyectos 2010.* [Documento inédito de 10/02/2010].

Sierra*, J. L. (2019). *Informe de la inspección realizada el 17 de septiembre de 2019 por un técnico buceador del Museo Nacional de Arqueología Subacuática*. [Documento inédito de 18/09/2019 enviado al MCD y la CARM].

Sierra*, J. L. (2021). *Informe de visita de observación al pecio fenicio Mazarrón 2: estado de su estructura de protección y de su entorno*. [Documento inédito de 21/09/2021 enviado al MCD y la CARM].

Sierra*, J. L. (2022). *Condición de la estructura de protección del pecio Mazarrón 2 y su entorno. Visita de inspección (11/05/2022)*. [Documento inédito de 11/05/2022].

Sierra, J. L. y Castillo, R.* (2020). *Informe sobre las visitas realizadas el 5 y 10 de junio de 2020 por los técnicos del Museo Nacional de Arqueología Subacuática durante la actuación de la CARM en el pecio Mazarrón 2*. [Documento inédito de 12/06/2020].

Sierra, J. L., Cantero, C. y Conesa, T.* (2021). *Propuesta de conservación in situ del pecio fenicio Mazarrón 2 en la Playa de la Isla*. [Documento inédito de marzo de 2021 enviado al MCD].

VV. AA.* (2010). *Memoria de los trabajos arqueológicos subacuáticos realizados en el yacimiento de Playa de la Isla (Puerto de Mazarrón, Murcia). Campañas de 1993 a 2001*.

Zambrano*, L. C. (2008). Informe técnico sobre el estado de conservación del barco II de Mazarrón, de 28 abril de 2008, Anexo 2.1. En Miñano, Fernández, Castillo *et al.* (2011), *Memoria Final de la Actuación de comprobación del estado de conservación del Barco Mazarrón 2 y de su estructura de protección (Campaña 2007-2008)*.

Zambrano*, L. C. (2023). *Informe de estudios previos. Ensayos con estructuras auxiliares de moldeo subacuático para la extracción y traslado del pecio Mazarrón 2*.

6. Siglas y abreviaturas

Siglas

APME: Asociación Profesional de Museólogos de España

ARQVA: Museo Nacional de Arqueología Subacuática [Cartagena]

ARQVAtec: Laboratorio de conservación y restauración del Museo Nacional de Arqueología Subacuática ARQVA [Cartagena]

BOE: Boletín Oficial del Estado

BORM: Boletín Oficial de la Región de Murcia

BIC: Bien de Interés Cultural

CARM: Comunidad Autónoma de la Región de Murcia [Murcia]
CEDEX: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
CSIC: Consejo Superior de Investigaciones Científicas [Madrid]
DAFO: Debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades. Diagrama de cuadrantes
DANA: Depresión aislada en niveles altos. También conocida como gota fría
GEAS: Grupos Especiales de Actividades Subacuáticas de la Guardia Civil
ICIFOR: Instituto de Ciencias Forestales. CSIC [Madrid]
ICRBC: Instituto de Conservación y Restauración e Bienes Culturales [Madrid]
ICOM-CC: International Council of Museums – Committee for Conservation
IHM: Instituto Hidrográfico de la Marina [Cádiz]
IGEO: Instituto de Geociencias [Madrid]
INIA: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. CSIC [Madrid]
IPCE: Instituto de Patrimonio Cultural de España [Madrid]
IPHE: Instituto del Patrimonio Histórico Español [Madrid]
GPD: Empresa General de Producciones y Diseño [Sevilla]
MAN: Museo Arqueológico Nacional [Madrid]
MCD: Ministerio de Cultura y Deporte [Madrid]
MCU: Ministerio de Cultura [Madrid]
MNAM-CNIAS: Museo Nacional de Arqueología Marítima y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas [Cartagena]
MOPT: Ministerio de Obras Públicas y Transportes [Madrid]
MoPS: Monitoring of Preserved Ships Monitoring
PCS: Patrimonio Cultural Subacuático
PEG: Polyethylene Glicol
RIE: Reunión Internacional de Expertos sobre la Extracción y Conservación del Barco Mazarrón 2
SEPRONA: Servicio de Protección de la Naturaleza de la Guardia Civil
SGGCBC: Subdirección General de Gestión y Coordinación de los Bienes Culturales
SGME: Subdirección General de Museos Estatales
SGPPH: Subdirección General de Protección del Patrimonio Histórico
UCM: Universidad Complutense de Madrid.
UPV: Universidad Politécnica de Valencia
UV: Universidad de Valencia
WOAM: Grupo de Trabajo de Materiales Arqueológicos Orgánicos Húmedos de ICOM-CC

Abreviaturas

Inv.: Número de inventario

El entorno de la Playa de la Isla de Mazarrón, problemática de la dinámica litoral

José Manuel de la Peña Olivas
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. CEDEX
Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana

Resumen: En este artículo se presentan los problemas surgidos por la existencia, aparición y localización *in situ* del pecio fenicio denominado *Mazarrón 2* frente a la Playa de la Isla de Mazarrón, desde el punto de vista de la dinámica costera y los riesgos que esta conlleva para el citado barco. Para ello se resumen los trabajos realizados por el CEDEX sobre la dinámica litoral de la playa, y los condicionantes que la existencia del pecio provoca para las mejoras de las playas. Además, se da un repaso del clima de oleaje y su afección al pecio y su conservación. Finalmente se repasan las diferentes presiones a las que puede verse sometido el pecio en su ubicación actual.

Palabras clave: Evolución playa, actuación costa, clima marítimo, propagación de oleaje, dinámica litoral.

Abstract: This article presents the problems arising from the existence, appearance, and location «in situ» of the Phoenician wreck called *Mazarrón 2*, located in front of the Playa de la Isla into the beach of the Isla de Mazarrón, from the point of view of coastal dynamics and the risks that this entails for the ship. For this, the reports carried out by CEDEX on the coastal, are dynamics of the beach is summarized beach, are introduced and the conditions that the existence of the wreck causes for the improvements of the beaches. In addition, a review of the wave climate and its effect on the wreck and its conservation are exposed. Finally, the different pressures to which the wreck can be subjected in its current location are reviewed.

Keywords: Beach evolution, coastal actions, martime clima, wave propagation, coastal dynamics.

Introducción

En el año 2016, la Demarcación de Costas de Murcia, a través de la Dirección General de la Costa y el Mar, solicitó al CEDEX un informe sobre la Playa de la Isla para analizar el momento idóneo y los condicionantes de la actuación prevista en ella y la implicación que tenía, habida cuenta que en el entorno existe un yacimiento arqueológico de importancia un barco fenicio conocido como *Mazarrón 2*, que podría verse afectado. Justo después de la emisión de la «Nota Técnica», en ese mismo año me llamó el arqueólogo Carlos de Juan, a quien conocía y con quien había compartido años atrás alguna ponencia sobre el antiguo puerto de Sagunto. Me solicitó y convenció para que me uniera al grupo de trabajo, y, tras las pertinentes autorizaciones de mis directores, me incorporé a él.

Tuvimos diversas reuniones a lo largo del confinamiento por la pandemia de todo el grupo, liderado por la directora general de Bellas Artes y por la Dirección General de Patrimonio Cultural de la Región de Murcia. Al final todo el grupo «de expertos» estuvimos de acuerdo en que había que extraer el pecio del agua y que, además, se harían unas jornadas explicativas que tras cierto retraso se convocaron desde el 5 al 7 de mayo de 2022, en las cuales estuve invitado a presentar mis conclusiones, de cuyos resultados es este artículo.

El barco a lo largo de su dilatada historia ha sufrido tres cambios muy significativos: 1) su inicial hundimiento en el agua en los siglos VII o VI a. C.; 2) su lento recubrimiento de arena, hasta encontrarse totalmente enterrado en el siglo XX (Peña Olivas, 2016); 3) su paulatino desenterramiento hasta quedar próximo al nivel del agua entre 1985 y 1990.

Antecedentes

Antes de comenzar a describir el problema que afecta a la playa de la Isla en Mazarrón en la actualidad y a la extracción del pecio fenicio, se deben analizar los diferentes trabajos que se han ido realizando a lo largo del tiempo debido a las alteraciones que se produjeron en esta playa por el continuo vertido de material procedente de mina que fue formando un espigón, o flecha, en el extremo de la playa y que produjo un cambio sustancial en la forma de la playa y que sacaron a la luz los restos de los antiguos barcos *Mazarrón 1* y *2*.

Las alteraciones que han ido produciéndose a lo largo del tiempo han sido objeto de trabajos específicos que se han centrado en dos puntos: Las variaciones de la forma en planta de la playa y la aparición de restos arqueológicos consistentes en los restos de dos barcos de posible origen fenicio.

A continuación, se describen, a modo de resumen, los objetivos de los principales trabajos desarrollados hasta la fecha, en relación con la playa de la Isla (Murcia).

- Informe técnico del CEDEX (Sánchez Palomar, 1993).
- Artículo del II Congreso Internacional de Estudios Púnicos (Negueruela, González, San Caludio *et al.*, 2004).
- Proyecto de la empresa Intercontrol Levante, S.A. (2007).
- Nota técnica del CEDEX (Peña Olivas, 2016): «Nota técnica sobre la Playa de la Isla en el término municipal de Mazarrón (Murcia)».

Informe técnico del CEDEX (1993)

En el año 1993, la entonces Dirección General de Costas, hoy de Sostenibilidad de la Costa y del Mar, encargó al CEDEX, a través del Centro de Estudios de Puertos y Costas, la realización de un informe sobre la situación de la playa de la Isla; su dinámica litoral, evolución y posibles actuaciones para mejorar su estado. Este trabajo corresponde al informe técnico «Dinámica y evolución de la Playa de la Isla de Mazarrón, Murcia», realizado en el año 1993 (Sánchez Palomar, 1993).

El objetivo de dicho estudio era, como se ha dicho, el conocimiento de la dinámica litoral de la zona y el análisis de soluciones para la mejora de la playa de la Isla (Figura 1).

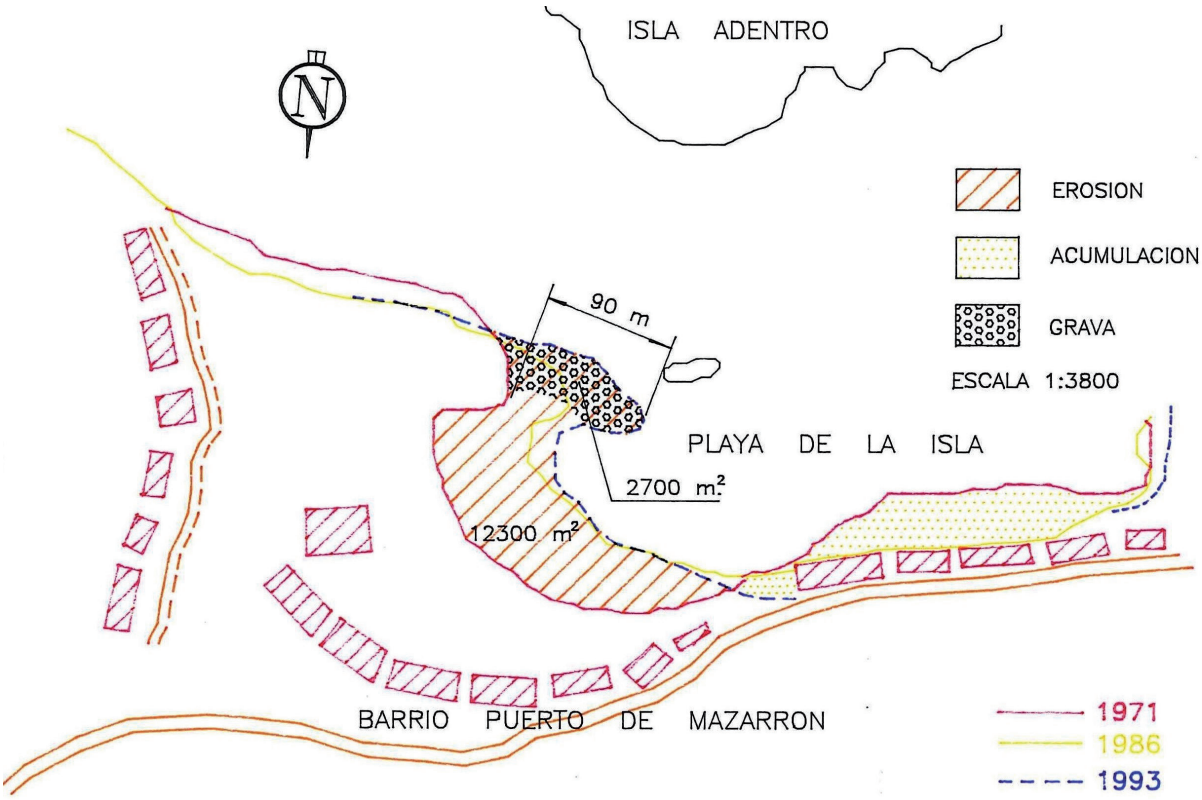


Figura 1. Estudio de mejoras en la Playa de la Isla. Solución 1. Fuente: CEDEX, 1993.

Artículo del II Congreso Internacional de Estudios Púnicos (2000)

Poco tiempo después de la realización del informe del CEDEX de 1993 se organizó el «Proyecto Nueva Fenicia», que consistía en la excavación sistemática de la plataforma de la Playa de la Isla en busca de restos fenicios, ya que en 1988 se habían localizado los primeros restos de un barco supuestamente, conocidos como *Mazarrón 1* (Negueruela Martínez, 1995). Como consecuencia de esta campaña de prospección, se halló un segundo barco fenicio, *Mazarrón 2,* en mucho mejor estado que el anterior en la primavera de 1994 (Figura 2). El primero de los pecios se trasladó al Museo Nacional de Arqueología Subacuática de Cartagena (ARQVA), mientras que el segundo de los barcos se halla todavía en el lugar del descubrimiento; habiéndose realizado una reproducción de él que se encuentra en el museo anterior.

Los hallazgos y campañas se plasmaron en el artículo «*Mazarrón 2*: el barco fenicio del siglo VII a.C. Campaña de noviembre 1999/marzo 2000», realizado por el Museo Nacional de Arqueología Marítima y el Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas; fue presentado en el II Congreso Internacional de Estudios Púnicos, que tuvo lugar en Cartagena, en el año 2000 (Negueruela, González, San Caludio *et al.*, 2004).

En dicho artículo se exponen las principales características de los restos arqueológicos correspondientes a la estructura general de la nave y demás dotaciones, obtenidas en la campaña de excavaciones realizada entre noviembre de 1999 y marzo de 2000, aun cuando todavía faltaban algunos meses para su finalización.

La aparición de ambos restos puede considerarse como consecuencia del basculamiento que se produjo en la Playa de la Isla como consecuencia de la formación del espigón por restos de desechos mineros vertidos al mar. Mientras que el primero de los barcos se extrajo y se expone en el Museo ARQVA, el segundo de los barcos con casi completa su armazón se halla todavía en el mismo lugar de su descubrimiento, donde existe una dinámica litoral activa, y por tanto sometida a las acciones propias de esa dinámica costera que se esbozan en esta nota.



Figura 2. Situación de los barcos fenicios hallados en la Playa de la Isla. Fotografía: MITECO.

Proyecto de Intercontrol Levante S.A. (2007)

La situación en que se hallaba, y se halla, el frente de la playa de la Isla provocó que se pensase en su mejora; para ello se realizó el «Proyecto del frente marítimo de la Playa de la Isla, T.M. Mazarrón (Murcia)» por la empresa consultora Intercontrol Levante S.A., a petición de la Demarcación de Costas en Murcia, perteneciente a la Dirección General de Costas del entonces Ministerio de Medio Ambiente, en el año 2007.

El objeto de dicho proyecto es la completa definición y valoración de las obras necesarias para la regeneración del frente marítimo de la Playa de la Isla, ubicada en el término municipal de Mazarrón (Murcia). Los problemas que esta zona plantea han sido una de las causas del retraso en la ejecución del proyecto. Estos problemas, algo esbozados, se explican en el siguiente apartado.

Nota técnica CEDEX (2016): «Nota técnica sobre la Playa de la Isla en el término municipal de Mazarrón (Murcia)»

El objetivo de esta nota técnica que el CEDEX elaboró para la Dirección General de la Costa y el Mar era analizar el momento idóneo y los condicionantes de la actuación prevista en la playa de la Isla en Mazarrón, habida cuenta que en el entorno existe un yacimiento arqueológico de importancia, un barco fenicio conocido como *Mazarrón 2*, que podría verse afectado (Peña Olivas, 2016).

Habida cuenta de la posible afectación de las obras proyectadas de rehabilitación de la playa, las concusiones de esta nota técnica son las siguientes:

1. No resulta conveniente estar expuesta una pieza de tanto valor al riesgo de acciones del oleaje, siendo aconsejable su extracción.
2. Los movimientos de sedimento que pueden producirse en el transcurso de la ejecución de la obra de mejora de la Playa de la Isla y los posibles movimientos de sedimento hacia el pecio hacen que este pueda verse sometido a acciones dinámicas del oleaje y sedimentos poco recomendables para la conservación del barco fenicio, y su situación final pudiera ser de mayor riesgo que en la actual.

Y se recomienda que previo a cualquier actuación debe extraerse el pecio para que no sufra daños por acción directa o indirecta de la obra y de la posterior evolución de la playa.

Descripción de la playa de la Isla y su entorno

La bahía de la playa de la Isla se encuentra dentro del golfo de Mazarrón y pertenece al barrio del Puerto de Mazarrón. Dentro de esta bahía destaca la existencia de la isla de Adentro, que prácticamente la cierra. La distancia que separa el morro del dique del puerto deportivo, en el Cabezo de la Rella, y el de la flecha de gravas está en torno a 560 m. La Isla tiene una anchura máxima de 400 m y mínima de cerca de 250 m, por lo que es una protección muy importante de la costa de la bahía, de la que dista menos de 300 m.

La playa de la Isla se encuentra encajada entre los salientes rocosos de Cabezo de la Rella o de la Cebada, sobre el que se encuentra la dársena deportiva del Puerto de Mazarrón a poniente, y Cabezo del Puerto a levante, donde actualmente la playa se apoya. Se halla protegida frente a ciertos oleajes directos, por la isla de Adentro (o de Paco), situada a una distancia aproximada de 290 m respecto a la línea de costa. Destaca la presencia de diversos islotes de pequeño tamaño, como es el caso del denominado Cabecico de los Aviones, situados frente a la misma Playa de la Isla.

La playa está formada por arenas de color dorado, mayoritariamente fina, cuyas características se muestran en la Figura 3.

Figura 3
Muestras de sedimento de la playa de la Isla de Mazarrón

N.º	M_d		$M_ø$		$\sigma_ø$	$\sigma_ø$	Moda		Tipo
	Ø	mm	Ø	mm			mm	%	
1	2,518	0,175	2,542	0,172	0,270	0,088	0,15	69	Arena fina
2	2,440	0,184	2,074	0,237	0,654	-0,559	0,15	58,9	Arena fina
3	1,921	0,264	0,505	0,705	2,227	-0,636	0,15	30,9	Arena fina
4	0,359	0,780	0,391	0,762	0,718	0,045	0,71	28,4	Arena media

Fuente: CEDEX, 1993.

Clima marítimo

La caracterización del clima marítimo en las proximidades de la Playa de la Isla viene realizada en el informe del CEDEX de 1993, no obstante, se actualizaron con los datos de clima marítimo que proporcionó Puertos del Estado.

La principal variable que se ha considerado para caracterizar y estudiar el comportamiento del clima marítimo frente a la costa en estudio es el oleaje. Este es el principal agente causante de la dinámica litoral en la Playa de la Isla y de su evolución en el tiempo, por lo que su conocimiento es imprescindible para evaluar y estudiar su comportamiento. La metodología seguida para caracterizar el oleaje en el entorno del tramo de costa considerada puede resumirse en: 1) la búsqueda de fuentes de información de datos de oleaje en alta mar; y 2) el análisis y la caracterización del oleaje.

Fuentes de datos de oleaje

Las boyas más cercanas a la zona de estudio se encuentran frente al cabo de Gata y cabo de Palos, que son las que utiliza el informe del CEDEX de 1993. Para este trabajo se ha preferido actualizar los datos tomándolos de puntos más cercanos, para así caracterizar con más precisión el oleaje que pueda incidir en la bahía y Playa de la Isla. Para ello se han utilizado los datos históricos del oleaje en el entorno de la bahía de la Isla que posee Puertos del Estado, y que están compuestos por datos de previsión de oleaje de modelo para cinco puntos. Por su proximidad a la zona de estudio, se han considerado de estos cinco puntos de medida los datos históricos de oleaje del punto situado más próximo a la costa de estudio que es: Punto SIMAR (2069090) (Figura 4).

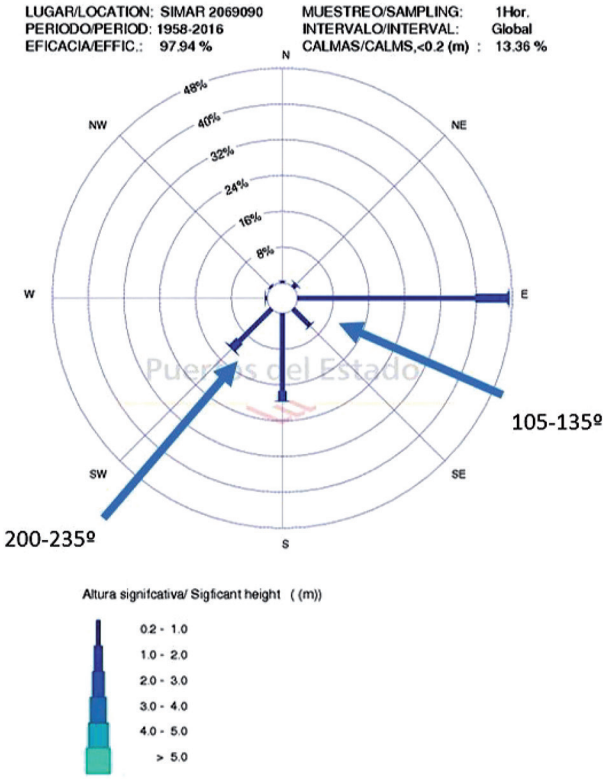


Figura 4. Rosa de oleaje frente a la Playa de la Isla. Fuente: Puertos del Estado.

Análisis y caracterización del oleaje

El oleaje que puede afectar a la Playa de la Isla viene principalmente caracterizado por dos elementos:

- Direcciones principales de oleaje.
- Altura máxima de ola significante.

La altura de ola significante, entre los años 1958 y 2016, presenta una dirección principal de oleaje netamente del este (E), siendo el resto de las direcciones de menor frecuencia, por orden de mayor a menor, las direcciones, sur (S), suroeste (SW) y sureste (SE). El resto de las direcciones son casi residuales, con mucha menor frecuencia. La máxima altura de ola significante, entre los años 1958 y 2016, se registró, en este punto SIMAR (2069090), en enero de 2013 y noviembre 2014; alcanzó una altura de 4,24 m y un período de pico de 9,56 s y 8,57 s, respectivamente. La siguiente máxima altura de ola se registró en octubre de 1973; alcanzó una altura de 4,14 m y un período de pico de 10,20 s. El tercero de los registros de máxima altura de ola se registró en diciembre de 2013; alcanzó una altura de 3,88 m y período de pico de 7,88 s.

La dirección principal de oleaje es el este (E), que tiene una frecuencia de presentación de casi el 48 % y una altura de ola significante máxima situada entre 4 y 5 m. Le sigue la dirección sur (S), con una frecuencia de presentación de algo más del 16 % y una altura de ola situada entre

2 y 3 m. La tercera dirección principal es el suroeste (SW), que tiene una frecuencia de presentación del 12 % y una altura de ola situada entre 2 y 3 m. Y la cuarta dirección es la sureste (SE), que tiene una frecuencia de presentación que no alcanza el 8 % y una altura de ola situada entre 1 y 2 m.

Propagación de oleaje en la bahía de la Isla

En el citado informe del CEDEX de 1993 se efectuaron diversas propagaciones de oleaje hacia la bahía de la Isla y su playa. Las direcciones de propagación fueron dos: E 45 S y S 35 W desde alta mar, que se transformaron en E 48 S y S 34 W al alcanzar las proximidades de la Playa de la Isla, efectuándose propagaciones con esta dirección, cuyos resultados se presentan resumidos en la Figura 5.

Como indica el citado informe: los oleajes del sureste (E 48 S) se ven muy afectados por la presencia de la Isla de Adentro, reduciéndose la altura de ola de manera importante, alcanzando la playa con una altura de 0,5 veces la altura inicial solamente en la parte de poniente, alcanzando el resto con valores inferiores de 0,1 y 0,3 veces la altura de ola inicial.

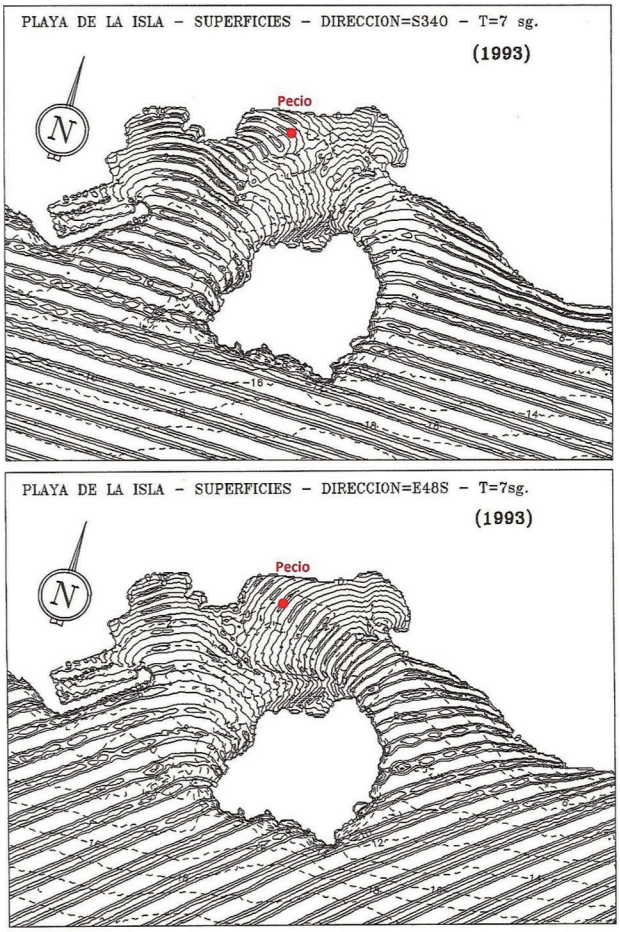


Figura 5. Propagación de oleaje en la Playa de la Isla. Fuente: CEDEX, 1993 y 2016.

Los oleajes provenientes del S 34 W también se ven afectados por la isla de Adentro. A poniente de la Playa de la Isla la altura de ola relativa es 0,4 veces la inicial, disminuyendo a 0,1 para la zona central y levante.

Evolución de la playa y afloramiento del pecio

El estudio de la evolución de la Playa de la Isla y se entorno se ha realizado mediante dos fuentes: la primera de ellas es la restitución fotogramétrica de las líneas de costa utilizando para ello diversos vuelos; la segunda es la comparación de las diferentes ortoimágenes que posee la fototeca del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Los planos de la evolución de la línea de costa (CEDEX, 1993 y 2016) muestran cómo la migración de sedimentos hacia la actual playa hizo posible el afloramiento de ellos (Figura 6).

El afloramiento de los pecios fenicios citados, *Mazarrón 1* y *Mazarrón 2*, y su descubrimiento efectivo en 1994 del segundo de ellos, datado en una cronología comprendida entre los siglos VII y VI a. C., se debió a la casuística, cuyas vicisitudes están asociadas a la evolución de la costa de la Playa de la Isla y la actividad minera de su entorno, que produjo un continuado vertido de sus residuos al mar, produciendo un espigón de gravas y bolos de estos vertidos por efecto de la dinámica litoral.

Por tanto, los vertidos de gravas provenientes de los desechos de la minería han generado una flecha de gravas que constituye un auténtico espigón dirigido de este a oeste hacia el interior

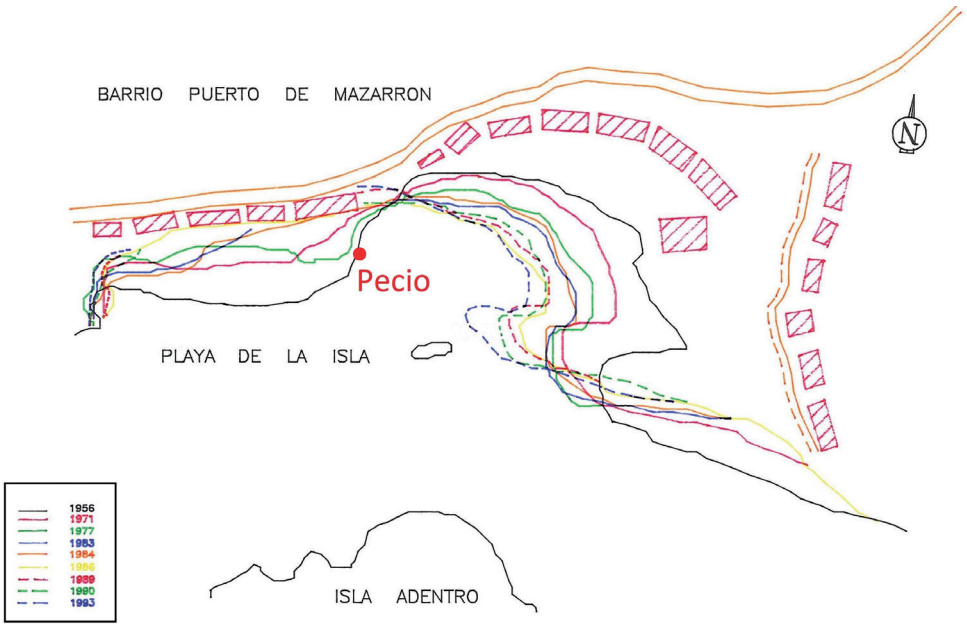


Figura 6. Líneas de evolución de la orilla en la Playa de la Isla. Fuente: CEDEX. 1993.

de la bahía, que ha ido absorbiendo la arena que formaba la antigua Playa de la Isla, quedándose sin playa en el frente, lo que propició que se quedaran al descubierto los restos de dos barcos fenicios descubiertos en 1988 y 1994.

Con todos estos datos, se aprecia que el pecio *Mazarrón 2* tuvo su primer contacto con el agua alrededor de 1985; por lo que solamente lleva en el agua de mar recientemente 37 años. La aparición de ambos pecios, en 1988 y 1994, puede considerarse como consecuencia del basculamiento que se produjo en la Playa de la Isla como consecuencia de la formación del espigón por restos de desechos mineros vertidos al mar. Mientras que el primero de los barcos se extrajo y se expone en el Museo ARQVA, el segundo de los barcos, con casi completa su armazón, se halla todavía en el mismo lugar de su descubrimiento, donde existe una dinámica litoral activa, y por tanto sometida a las acciones propias de esa dinámica costera que se esbozan en la nota técnica de CEDEX.

Presiones sobre los restos en la actualidad

Las presiones a las que se ve sometido el pecio, barco fenicio, son de tres tipos: 1) debida al clima marítimo; 2) debido a la dinámica litoral; y 3) debido a la propia estructura de preservación (Figura 7).

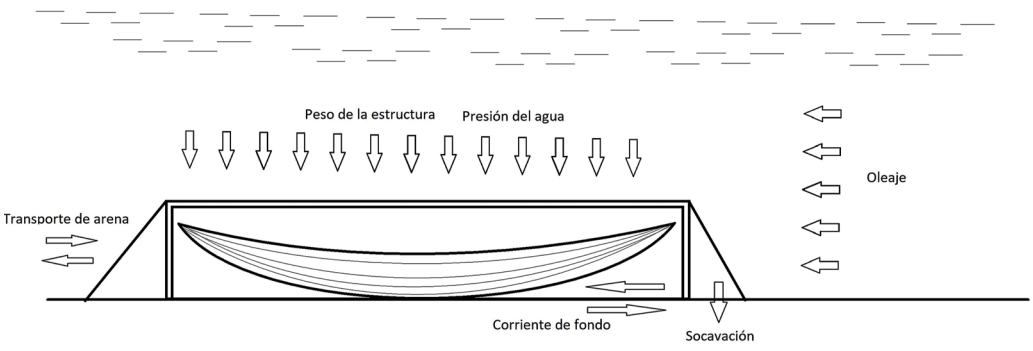


Figura 7. Resumen de las presiones sobre el pecio en el estado actual.

Debida al clima marítimo

El clima marítimo interfiere en el barco de dos maneras diferentes, pero asociadas: la acción del oleaje exterior se interna en la Playa de la Isla, propagándose hasta alcanzar la costa.

La situación relativa del pecio respecto al oleaje y la Playa de la Isla muestra que puede ser alcanzado por determinadas direcciones, especialmente el sureste y el sur suroeste, aunque los bajos y la difracción que se produce entre la isla y el continente hagan que se reduzca su intensidad, como se aprecia en la propagación de oleaje. En ella se observa que existe un abanico de direcciones de oleaje que, aunque pequeño, puede incidir directamente en él, y que coincide con las direcciones principales de oleaje. En la actualidad, la línea de orilla de la playa de la Isla se encuentra a una distancia de 275 m del pecio.

Si se observa la propagación de oleaje en las dos direcciones que pueden incidir directamente en la zona de estudio (Figura 8), se aprecia que (CEDEX, 2016):

Los oleajes del sureste (E48S) se ven muy afectados por la presencia de la Isla de Adentro, reduciéndose la altura de ola de manera importante, alcanzando la playa con una altura de 0,5 veces la altura inicial solamente en la parte de poniente, alcanzando el resto con valores inferiores de 0,1 y 0,3 veces la altura de ola inicial.

Los oleajes provenientes del S34W también se ven afectados por la isla de Adentro. A poniente de la Playa de la Isla la altura de ola relativa es 0,4 veces la inicial, disminuyendo a 0,1 para la zona central y levante.

Todo ello indica que en la zona donde se encuentra el pecio en la actualidad los oleajes se habrían reducido entre 0,5 y 0,1, aproximadamente.

También debe considerarse dos fenómenos climáticos marinos de cierta importancia: el primero de ellos lo compone la marea meteorológica, especialmente de presión, que puede hacer aumentar o reducir el nivel del mar de manera considerable, cambiando las características en la



Figura 8. Direcciones de oleaje que pueden incidir sobre la zona del pecio *Mazarrón 2*. Fotografía: MITECO.

que se halla en la actualidad el barco. El segundo es el fenómeno de subida del nivel del mar debido al cambio climático y el cambio de frecuencias de las anteriores mareas meteorológicas, haciéndolas más usuales.

Debido a la dinámica litoral

La distancia de orilla actual parece que es suficiente para no afectar, de manera significativa, en sus alternancias el perfil de playa. Si bien la expansión lateral del oleaje del sureste y la propagación del suroeste hacen que tenga una tendencia neta a un transporte de arenas hacia la actual playa, limpiando los fondos de arena, asentada sobre base rocosa.

Ello hace que, poco a poco, la arena tenga una tendencia a emigrar a la Playa de la Isla o hacia el suroeste, limpiando y lavando los fondos donde se encuentra la estructura.

Debido a la propia estructura de preservación

La tercera de las presiones es debido a la propia estructura que protege el barco, ya que ella también se encuentra sometida a acciones del oleaje y corrientes que transmite o puede transmitir al objeto protegido. La última inspección realizada por Carlos de Juan en noviembre de 2020 indica:

1. Los parapetos de sacos terreros colocados para proteger el frente S de la caja han hecho su papel, frenando el envite del oleaje. No se ha observado socavamiento en el talud adyacente a la caja. El estado del cerramiento es semejante a como se dejó en septiembre de 2020. Tan solo en un punto se ha constatado que una de las tapaderas se ha movido ligeramente por el mar.
2. La malla colocada para favorecer la sedimentación sobre la caja ha sido arrancada por el oleaje y enrollada en algunos puntos (se reparará cosiéndola con bridas plásticas en la siguiente inspección). Su eficacia conocida en contextos atlánticos no ha podido ser atestiguada en el pecio de Mazarrón por ahora.
3. Los módulos New Jersey, colocados como barrera a modo experimental, han sufrido el efecto del oleaje. Uno de ellos se encontraba tumbado, lo que sugiere que necesita que se rellene la base con más grava. Los otros dos, en su posición vertical, se han empezado a hundir en la arena. La corriente socava las esquinas, dejando sus caras laterales con algo más de sedimento, pero hundiéndose los módulos, en definitiva. No se ha observado ningún efecto por ahora que nos hable de su eficacia.

Conclusiones

Resulta altamente interesante el trabajo realizado por Sierra, Conesa y Cantero (2021) para ARQVA en el cual proponen la conservación *in situ* del barco, o pecio, fenicio. No obstante, a la vista de lo expuesto en los puntos anteriores, debe considerarse que:

El barco a lo largo de su dilatada historia ha sufrido tres cambios muy significativos: 1) su inicial hundimiento en el agua en los siglos VII o VI a. C.; 2) su lento recubrimiento de arena, hasta encontrarse totalmente enterrado en el siglo XX (Peña Olivas, 2016); 3) su paulatino desenterramiento hasta quedar de nuevo en el agua entre 1985 y 1990.

Las acciones del oleaje y corriente solamente se produjeron en sus primeros momentos y a partir de 1985. No se sabe el efecto que la desaparición de la arena sobre la estructura del barco pudiera causar, ni tampoco el efecto si vuelve a enterrarse. Ni el efecto en los estados intermedios,

ya que, si se retirase el Gachero, o espigón de los restos mineros, en algún momento, por ejemplo, el pecio se encontraría en zonas de rompientes y su estado final se hallaría, más o menos, como en 1956.

La acción cambiante del clima marítimo debido al cambio climático puede afectar negativamente en las acciones de este sobre el pecio. Por ello, las presiones a las que puede estar sometido el pecio lo hacen inestable a la larga.

La extracción del pecio condiciona el desarrollo de actuaciones costeras para la mejora de la playa y extracción del material de desecho de la minería y rehabilitación medioambiental del entorno costero.

Referencias bibliográficas

Intercontrol Levante, S.A. (2007). *Proyecto del frente marítimo de la Playa de la Isla, T.M. Mazarrón (Murcia)*. Dirección General de Costas del Ministerio de Medio Ambiente.

Juan Fuertes, C. de (2020). *Informe de la inspección del estado del cerramiento del pecio Mazarrón 2*. Universitat de València.

Negueruela, I. (1995). Excavaciones arqueológicas subacuáticas realizadas por el Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas en el yacimiento de la Playa de la Isla (Mazarrón). Memoria de la campaña de 1995. *Memorias de Arqueología de la Región de Murcia,* 10, 162-180.

Negueruela, I., González, R., San Claudio, M., Méndez, Á., Presa, M. y Marín, C. (2004). Mazarrón-2, el barco fenicio del siglo VII a.C. Campaña de noviembre-1999/marzo 2000. *Actas II Congreso Internacional del Mundo Púnico. Cartagena, 6-9 de abril de 2000* (pp. 453-484).

Peña Olivas, J. M. de la (2011-2016). *Inventario de puertos antiguos en Hispania*. Accésit Premio Internacional García Diego, Fundación Juanelo Turriano en 2012. CEDEX-Ministerio de Fomento.

Peña Olivas, José Manuel de la (2016) (CEDEX, 2016). *Nota técnica sobre la Playa de la Isla en el T.M. de Mazarrón (Murcia) (clave: 22-414-5-006, Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar)*. CEDEX.

Sánchez Palomar, F. J. (1993) (CEDEX, 1993). *Dinámica y evolución de la Playa de la Isla (Mazarrón, Murcia) (clave 22-493-5-021, para la Dirección General de Costas del MOPTMA)*. CEDEX.

Sierra Méndez, J. L., Conesa Torres, T. y Cantero Escribano, C. (2021). *Propuesta de conservación* in situ *del pecio fenicio Mazarrón 2 en la Playa de la Isla*. Museo Nacional de Arqueología Subacuática (ARQVA).

ARQVAtec, el laboratorio de conservación y restauración del Museo Nacional de Arqueología Subacuática

Soledad Pérez Mateo
Conservadora. Museo Nacional de Arqueología Subacuática
soledad.perez.m@cultura.gob.es

Milagros Buendía Ortuño
Conservadora-restauradora. Museo Nacional de Arqueología Subacuática
milagros.buendia@cultura.gob.es

Resumen: La preservación del patrimonio cultural subacuático es una de las funciones más destacadas del Museo Nacional de Arqueología Subacuática ARQVA, tal y como se recoge en el Real Decreto 1508/2008, de 12 de septiembre, por el que se regula. La particularidad de albergar una colección abierta hace imprescindible responder a las necesidades del incremento de los fondos del museo con materiales procedentes de las intervenciones arqueológicas u otros orígenes y su conservación. Para ello el museo cuenta con dos laboratorios de conservación, uno en su sede del paseo del Muelle Alfonso XII y otro en ARQVA*tec*, en el Polígono Industrial Cabezo Beaza (Cartagena), donde se desarrollan los trabajos de estudio, diagnóstico o intervención, con la investigación como eje vertebrador de los mismos.

Palabras clave: ARQVA, ARQVAtec, conservación, arqueología subacuática, laboratorio de conservación-restauración, investigación.

Abstract: The preservation of underwater cultural heritage is one of the most notable functions of the ARQVA National Museum of Underwater Archeology, as stated in RD 1508/2008, of September 12, by which it is regulated. The particularity of housing an open collection makes it essential to respond to the needs of increasing the museum's funds with materials from archaeological interventions or other sources and their conservation. To this end, the museum has two conservation laboratorios, one at its headquarters on Paseo del Muelle Alfonso XII and ARQVAtec, in the Cabezo Beaza Industrial Park (Cartagena) where the study, diagnosis or intervention work is carried out, with research as the backbone of them.

Keywords: ARQVA, ARQVAtec, Conservation, Underwater Archaeology, Conservation laboratory, research.

1. Antecedentes

Como señala el *Libro Verde* (2010), el patrimonio cultural subacuático (en adelante PCS) requiere de unas infraestructuras específicas que no suelen existir en la arqueología terrestre, especialmente en lo que se refiere a las actuaciones en el medio subacuático y en la conservación. Este último aspecto es el que desarrollamos en este artículo, puesto que la conservación del PCS

plantea problemas específicos derivados de su permanencia en medios húmedos o saturados de agua que requieren un equipamiento y técnicas adecuados, sin olvidar la formación y especialización necesarias por parte de los profesionales que ejercen la disciplina de la conservación.

El Museo Nacional de Arqueología Subacuática ARQVA, desde sus orígenes como Museo Nacional de Arqueología Marítima y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas (MNAM-CNIAS)[1], contaba con un laboratorio de conservación-restauración, que se ubicaba en la planta baja del edificio de oficinas del Dique de Navidad. Este laboratorio tiene su origen en el que creó la conservadora-restauradora Carmen Pérez de Andrés[2], cuando llegó al museo en 1987. Fue un laboratorio específicamente diseñado para la conservación de materiales procedentes de actuaciones arqueológicas subacuáticas y respondía a las necesidades particulares derivadas de las características de los mismos, que serían las mismas que tenemos en ARQVAtec: piletas para la desalación (Figura 1), sistemas de eliminación de sales solubles, baños de desalación con circulación para acelerar el proceso y evitar la alteración del agua, armarios o habitaciones frigoríficas



Figura 1. Piletas de tratamientos en húmedo en el Laboratorio de Conservación del MNAM-CNIAS. Fotografía: Archivo Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

1 Museo Nacional de Arqueología Marítima por Orden de 21 de febrero de 1983, manteniéndose el Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas, con el que se creó conjuntamente en 1980 (MNAM-CNIAS).

2 Carmen Pérez de Andrés es una figura poco conocida, incluso entre el personal que ha estado trabajando en el museo y que en los últimos años está siendo objeto de estudio (Antona y Martínez, 2019; Castillo y Miñano, 2021; Buendía, Pérez y Castillo, 2021; Pérez y Buendía, 2022).



Figura 2. Carmen Pérez de Andrés trabajando en el Laboratorio de Conservación del MNAM-CNIAS. Fotografía: Archivo Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

que permitieran almacenar materiales orgánicos en la oscuridad y a baja temperatura, entre otros (VV.AA., 1988, pp. 63-75, esp. p. 70)[3]. Ya estaba configurada la separación por zonas de trabajo, para el tratamiento en húmedo y seco. Estamos ante uno de los primeros laboratorios de conservación de materiales arqueológicos de procedencia subacuática existente en España, al que Carmen Pérez de Andrés (Figura 2) dota de equipamiento especializado para materiales orgánicos anegados o saturados (tanques de impregnación con posibilidad de realizarla con calor, densímetro, cámara frigorífica, prototipo de liofilizador), en el marco del Proyecto de Conservación de madera arqueológica saturada de agua, que implementó en colaboración con el Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales (ICRBC). Ella marcaría el destino del museo como centro especializado en el tratamiento de materiales orgánicos saturados de agua, puesto que formaría a los profesionales que posteriormente se dedicarían a estos tratamientos. Tras su marcha del museo en 1991 las necesidades de la institución museística a lo largo de sus más de 20 años de vida han ido configurando la existencia de espacios que se revelaron insuficientes para albergar el volumen de bienes procedente de las actuaciones arqueológicas subacuáticas, su tratamiento y control documental.

[3] Nos referimos al capítulo dedicado a la conservación, titulado Tratamiento y conservación de los materiales (págs. 63 a 76), escrito por Carmen Pérez de Andrés.

Las necesidades de un laboratorio de conservación ya habían quedado establecidas pero irían variando a lo largo del tiempo, en función de las diferentes etapas de la dirección del museo. En el Proyecto Museológico para la construcción de la nueva sede del MNAM-CNIAS, elaborado por Iván Negueruela[4] y publicado en el nº 5 de los Cuadernos de Arqueología Marítima (1999), se recoge un capítulo dedicado a taller de restauración y laboratorio de química, redactado por el conservador-restaurador Carlos Gómez-Gil Aizpurúa y el químico Juan Luis Sierra (1999). En él se señalan cuestiones de equipamiento e infraestructura que ya habían sido descritas e implementadas por Carmen Pérez de Andrés y estas mismas ideas se recogerían cuatro años después (Gómez-Gil Aizpurúa, 2003). A pesar de que en 1999 la revista Museum de la Unesco publicó un número especial titulado: La conservación preventiva, que supuso un cambio en la metodología de trabajo, no hay mención alguna en 1999 o en 2003 a la conservación preventiva entendida como la necesidad de medidas y prácticas dirigidas a evitar o paliar el futuro deterioro o la pérdida de objetos, ni que se puede llevar a cabo tanto in situ como en el laboratorio. ¿Dónde quedaba entonces la conservación preventiva en el museo? ¿El conservador-restaurador solo restauraba? ¿Cuáles eran sus funciones? ¿Y las del resto de técnicos que trabajaban en él?. Si en 1999 se señalaba que un laboratorio de química era necesario, ¿por qué no un laboratorio de biología, física, geología o de cualquier otra disciplina que apoye los trabajos de conservación? Si bien es cierto que la naturaleza material del PCS y los procesos de deterioro que presentan hacen necesario el trabajo multidisciplinar, especialmente ciencias del patrimonio, los laboratorios de conservación deben ser planificados en un sentido integral. Asimismo, todos los materiales de procedencia subacuática deben tratarse en igualdad de condiciones, puesto que forman parte del mismo contexto histórico y cultural.

A pesar de la deficiencia de infraestructura, instalaciones y equipamiento, no podemos olvidar que ya en los años ochenta del siglo xx (y que fue un componente fundamental de la norma 24 del Anexo de la Convención Unesco 2001) existió un Programa de Conservación para materiales de procedencia subacuática, diseñado e implementado por Carmen Pérez de Andrés, cuya visión integral de la conservación se sustentaba en que los conservadores-restauradores son los profesionales que ejercen esta disciplina, para lo que cuentan con el apoyo de otros profesionales como biólogos, geólogos o químicos, entre otros, como ya pondría de manifiesto con posterioridad el Plan Nacional de Investigación en Conservación (2015). Ya estaban asentados los cimientos para que el museo fuera una referencia en la promoción de la investigación en conservación del PCS y la creación de un programa específico para ello, con una metodología de trabajo en materia de conservación antes, durante y después de la intervención arqueológica, el estudio de las causas y mecanismos de deterioro, métodos de diagnóstico, monitorización o nuevos tratamientos para materiales orgánicos saturados como temas prioritarios. Es esencial recordar que ella, muchos años antes, en sus publicaciones y con su trabajo en el museo, ya defendía la conservación preventiva como aspecto clave en la conservación del PCS. Solo faltaba continuar con su legado, reconocerlo y ponerlo en valor.

2. Un nuevo laboratorio para un nuevo museo: ARQVAtec

Teniendo en cuenta estos antecedentes, siendo director del museo Iván Negueruela, salió a concurso el diseño y construcción de la nueva sede del museo en el paseo del Muelle Alfonso XII. El arquitecto Guillermo Vázquez Consuegra, en su proyecto arquitectónico inicial, planificó un gran espacio para el laboratorio de conservación. Sin embargo, las modificaciones y el redimensionado del proyecto hicieron inviable que el laboratorio proyectado se ubicase en el espacio que ahora ocupa la actual sala de exposicones temporales (600 m^2).

[4] Director del museo en tres periodos: 1999-2006, enero-abril 2010 y 2013-2021.

Bajo la dirección de Rafael Azuar (2006-2010), y con motivo del Programa de conservación para el Proyecto Museográfico del museo en su nueva sede (2006-2008)[5], por un lado, se realizó una mejora de las instalaciones del laboratorio de la sede del Dique de Navidad consistente en la redistribución de las áreas, lo que permitió ampliar las superficies de trabajo, gestionar la recepción de materiales, la dotación de equipamiento específico y la gestión de residuos generados por los diferentes tratamientos (Pérez y Buendía, 2022, pp. 185-186). Por otro lado, y en el marco del Programa Arquitectónico, se incluyó el espacio y la dotación de infraestructura para un pequeño laboratorio de conservación (28 m^2) en la nueva sede del museo, Paseo del Muelle Alfonso XII, que diera respuesta a las necesidades de seguimiento o de intervenciones puntuales en el PCS de la exposición permanente o de almacenes, así como la supervisión en las tareas de limpieza de los elementos museográficos como vitrinas, maquetas, etc., siendo la conservación preventiva la línea prioritaria de actuación. Ubicado en la planta 0, orientado hacia el norte y con entrada de luz natural, contempla un máximo de tres puestos de trabajo y cuenta, entre otras especificaciones, con un brazo de extracción localizada de gases y humos, un armario de seguridad para productos inflamables, así como suministro de agua corriente y destilada (Buendía, 2006; 2007; 2008; Pérez y Buendía, 2022, p. 186). Este laboratorio se fue desmantelando gradualmente desde 2008[6] y, con la incorporación de Rafael Sabio a la dirección del museo en 2022, se ha recuperado dicho espacio, dotándolo del equipamiento y los recursos necesarios para su puesta a punto (Figura 3).



Figura 3. Imagen actual del Laboratorio de Conservación de ARQVA, 2022. Fotografía: Archivo Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

5 Nos referimos al proyecto elaborado bajo la dirección de Rafael Azuar para la instalación museográfica en una nueva sede, en el Paseo del Muelle Alfonso XII, donde el museo se trasladaría desde su originaria ubicación en el Dique de Navidad.

6 Trasladándose a ARQVAtec la práctica totalidad de equipos de conservación-restauración e instrumental quedando el laboratorio del museo infrautilizado.

Además del laboratorio en la sede principal del museo, se hacía necesario disponer de un espacio de mayores dimensiones que diera respuesta al ingreso de grandes volúmenes de material arqueológico procedente de las actuaciones arqueológicas subacuáticas, con independencia de su naturaleza (orgánicos e inorgánicos), siendo el material cerámico el que ocupa más de la mitad de la colección del museo. El diseño de este espacio, denominado ARQVAtec, se ha organizado en áreas en las que se desarrolla un ciclo de trabajo completo sobre estos bienes, desde la diagnosis hasta su almacenamiento.

Dicho espacio se ubica en el polígono industrial Cabezo Beaza, a 5 km de la sede actual del museo en el paseo del Muelle Alfonso XII, 22 (Cartagena). Como centro especializado en la conservación de material arqueológico de procedencia subacuática en España, de titularidad estatal y gestión exclusiva del Ministerio de Cultura y Deporte, se suma a los laboratorios ya existentes de los centros de arqueología subacuática de Cádiz, Gerona o Valencia, gestionados por la Administración autonómica. Sirve, además, de apoyo a otras instituciones en los tratamientos específicos de su especialidad y puede colaborar con las comunidades autónomas que puedan necesitar su asistencia.

ARQVAtec se encuentra en una nave industrial con una superficie de 1940,24 m², diáfana y versátil, distribuida en dos plantas. La adquisición de la nave en 2009, el primer diseño de espacios de trabajo y la dotación inicial de mobiliario de laboratorio se acometió en época de Rafael Azuar. Posteriormente, entre 2010 y 2011, bajo la dirección de Xavier Nieto (2010-2013), se realiza el traslado definitivo del personal y del contenido del laboratorio de conservación desde la antigua sede del museo en el Dique de Navidad a la nave. Una vez allí, se acometió la obra civil, se rediseñaron los espacios de trabajo y se instaló el mobiliario adquirido anteriormente, en la etapa en la que Rafael Azuar fue director.

La planta baja está dividida en dos zonas iguales (A y B). La A corresponde al laboratorio de conservación-restauración y la B a un espacio de usos múltiples para arqueología, náutica, buceo y una zona de almacenamiento de materiales arqueológicos de procedencia subacuática, distribuidos en estanterías y compactos. Además, cuenta con una cámara acorazada con control de humedad relativa y temperatura. La primera planta se destina a espacio de oficinas y aula de formación.

ARQVAtec tiene varios puntos de acceso, en la fachada principal se encuentra el acceso de personal, una puerta de grandes dimensiones (4,40 m de altura x 4 m de ancho) para la entrada de vehículos, y dos puertas laterales, en sentidos opuestos, que sirven también como salidas de emergencia. Dispone de una instalación de protección contra incendios, extintores y BIES, según los reglamentos y normas vigentes, así como servicio de seguridad presencial de 24 horas y sistemas de detección de intrusión en todo su perímetro exterior. La seguridad del laboratorio y de las personas es fundamental en un espacio de estas características.

2.1. La planta baja

La planta baja (Figura 4) se divide en las zonas A y B.

La Zona A corresponde al laboratorio de conservación-restauración (Figura 5) y está equipada con dos climatizadores, un extractor con intercambiador de calor y aislamiento térmico en la cubierta.

Tiene luz natural a través de tragaluces de material plástico en la cubierta distribuidos longitudinalmente y luz artificial mediante 16 focos de 400 W.

Dispone de sistemas de extracción de gases y polvo, tres brazos extractores, todos situados en el lateral sur, una vitrina extractora y un equipo portátil de extracción, ducha y lavaojos de emergencia.

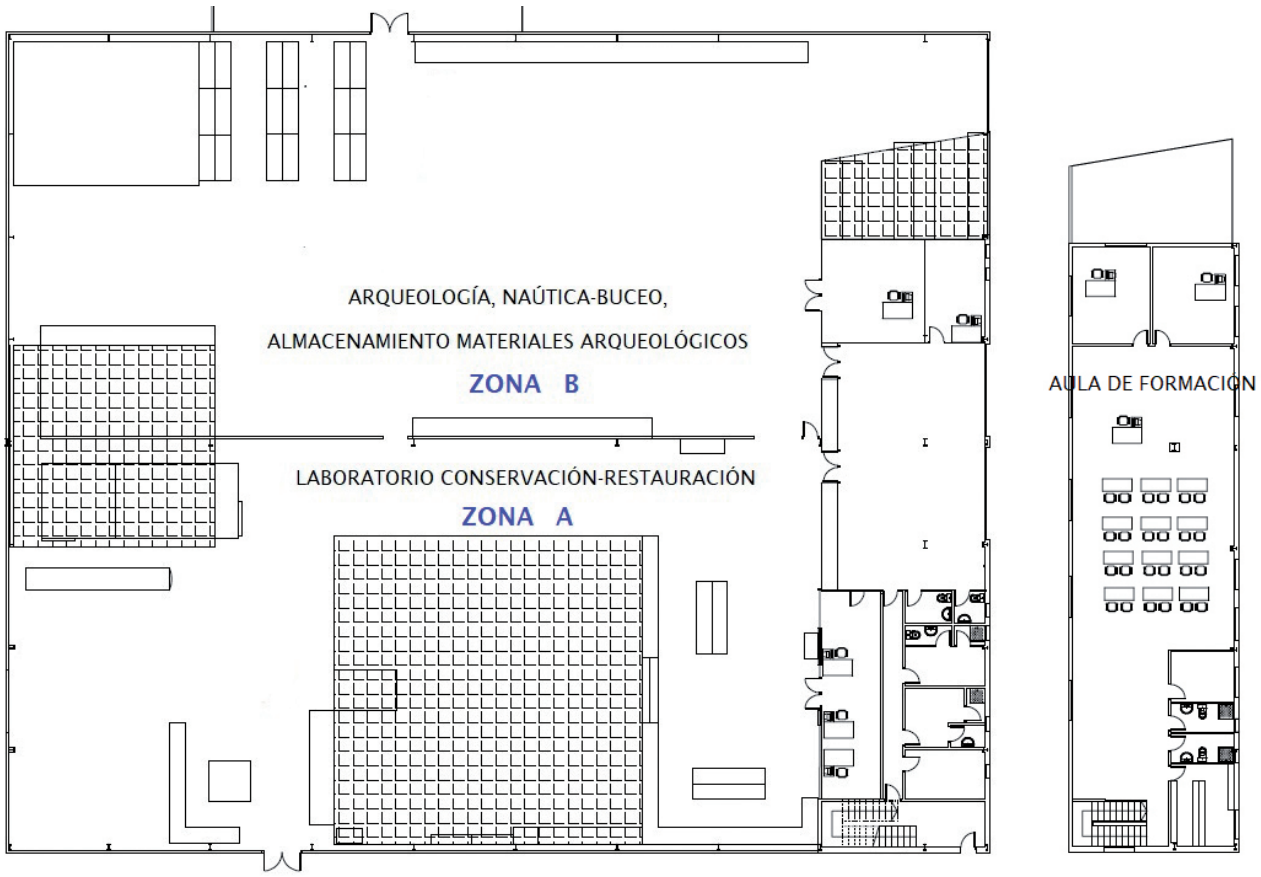


Figura 4. Planta de ARQVAtec. Zonas A y B situadas en la planta baja.

Cuenta con un puente grúa ABUS de 3,2 toneladas de carga máxima, que discurre longitudinalmente por todo el espacio del laboratorio, imprescindible para el traslado de piezas de grandes dimensiones y peso durante los diversos procedimientos de conservación a los que hay que someterlas.

Respecto a los suministros, la acometida de agua de red es de 2" y drenaje del mismo calibre, aunque no dispone de red de agua caliente.

Los puntos de electricidad monofásica y trifásica se encuentran repartidos por toda la nave, con líneas independientes para el liofilizador, para cada uno de los seis tanques de tratamiento y cabina de extracción de gases. Para evitar un fallo en su suministro, un grupo electrógeno de cincuenta caveas presta servicio al liofilizador, cámara frigorífica y cámara de congelación.

El mobiliario está distribuido en varios puntos desde el extremo oeste al este, cuenta con la instalación para la distribución de electricidad (trifásica y monofásica con protecciones), puntos de iluminación, distribución de agua de red y desmineralizada, distribución de aire a presión y vacío (pero sin equipos generadores), así como estanterías, vitrinas, armarios y cajoneras. Suman un total de 48 m lineales de superficie de trabajo.

Hay siete mesas de laboratorio portátiles (1,20 m longitud x 0,75 m ancho) que pueden ubicarse según las necesidades de trabajo, una mesa de acero inoxidable (2 m longitud x 2 m ancho) y cuatro muebles de bandejas dobles de acero inoxidable.

Cuenta con cinco puntos de acceso telefónico y red de datos integrados en el mobiliario del laboratorio y wifi.

A continuación describimos las principales áreas de trabajo de la zona A y su equipamiento:



Figura 5. Vista general del laboratorio de conservación-restauración de ARQVAtec. Fotografía: Archivo Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

1. Recepción de materiales

En el extremo oeste hay un acceso lateral con el exterior, donde se puede llegar con vehículo por su perímetro, hasta un área que habitualmente se utiliza como recepción de materiales. Es amplia y con las mínimas barreras arquitectónicas para la recepción y cotejo de volúmenes considerables de material arqueológico[7]. Aquí hay una gran mesa cuadrada de acero inoxidable y desagües donde se pueden revisar, clasificar y documentar todos los bienes procedentes de una actuación arqueológica subacuática o de otras modalidades de ingreso como depósitos judiciales, decomisos o donaciones, entre otros. Asegurar un correcto registro documental evitará que se pierda una documentación histórica irrepetible, y esto se hace especialmente significativo cuando el bien va a ser sometido a un tratamiento, que debe garantizar una conservación adecuada del mismo en todas las fases del proceso (norma 24 del Anexo de la Convención 2001). Rodea a esta mesa un punto de agua con un pequeño seno de acero inoxidable y un puesto de trabajo con voz y datos. Frente a ella se encuentra una pila rectangular de cemento y tres grifos para realizar los primeros lavados de materiales arqueológicos.

Aquí también se ubica el equipo de producción de agua desmineralizada por ósmosis inversa de un solo paso de 2500 l diarios, con un tanque asociado de agua permeada y red de distribución a los cuatro puntos de lavado integrados en el mobiliario de laboratorio.

2. Almacenamiento en frío y liofilizador

Hay una cámara frigorífica (12 m^2 para conservación en frío a 4 ºC), una cámara congeladora (20 m^2, a -24 ºC) y una cámara de ensayos climáticos Sanyo MLR-351H con capacidad de 294 l. Es

[7] Debido a la cantidad y variedad de bienes en una actuación arqueológica subacuática, y por la necesidad de normalizar la recepción, desde 2011 disponemos de un Protocolo de entrega de materiales arqueológicos de procedencia subacuática que actualizamos periódicamente junto a la arqueóloga del museo Rocío Castillo.

importante la conservación en frío para evitar la proliferación de microorganismos y tener un registro documental y topográfico de los materiales almacenados, para poder realizar un seguimiento de los tratamientos realizados (inicio, en proceso o finalización), así como facilitar una copia de dicho registro para su expediente en el Archivo del museo, junto a la documentación gráfica asociada.

En este espacio se encuentra un liofilizador Telstar, con unas dimensiones útiles de 5,5 m de longitud y 1,10 m de diámetro, para el tratamiento de materiales orgánicos saturados.

3. Tratamientos en húmedo

En la zona central, con un enrejado sobreelevado, es donde se ubican los tanques de tratamiento, de diferentes materiales y dimensiones, con acometidas de electricidad, fontanería y drenajes en su parte inferior, solo para los de acero inoxidable. Además, estos últimos tienen recirculación, y de ellos, los números 3, 4, 5 y 6 se pueden calefactar hasta 80 ºC mediante resistencias eléctricas. Aquí se realizan los tratamientos de eliminación de sales solubles, decloruración o impregnación de los materiales arqueológicos de procedencia subacuática, principalmente.

Hay 6 tanques de acero inoxidable, 2 de cemento y 8 de polietileno:

Relación de tanques	
6 de acero inox. (números del 1 al 6)*	
1	5,50 m long. x 0,70 m ancho x 0,70 m alt. 6 bastidores de acero inox. con 5 bandejas de rejilla de poliéster
2	2,70 m long. x 1,30 m ancho x 0,80 m alt 3 bastidores de acero inox. con 5 bandejas de rejilla de poliéster
3	2,10 m long. x 1,47 m ancho x 1,25 m alt. 2 bastidores de acero inox. con 5 bandejas de rejilla de poliéster
4-5	1,55 m long. x 1,10 m ancho x 1,40 m alt. 2 bastidores de acero inox. con 5 bandejas de rejilla de poliéster
6	6 m long. x 1,55 m ancho x 1,40 m alt. 6 bastidores de acero inox. con 5 bandejas de rejilla de poliéster
2 de cemento (números 7 y 8)	
7-8	4,10 m long. x 0,70m ancho x 0,70 m alt.
8 de polietileno (números del 9 al 16)	
9-16	1,20 m long. x 1,10m ancho x 0,76 m alt.

Estos grandes tanques hacen necesario que el suelo se haya adaptado para soportar su peso.

4. Medición y conservación-restauración (trabajos de precisión y en seco)

En el lado este se encuentran los equipos de medición, algunos equipos de conservación-restauración e instrumental de laboratorio, distribuidos en las superficies del mobiliario instalado según las necesidades de trabajo. La relación del instrumental es la siguiente[8]:

[8] La relación ha podido variar en la fecha de redacción de este artículo al incorporarse más equipamientos, herramientas o instrumental. Los tratamientos van evolucionando al ritmo de las investigaciones, conllevando un aumento y mejora de aquellos, pero nunca se debe caer en el error de adquirir por adquirir o tener por tener, sobre todo los que suponen un elevado coste económico. Un trabajo en equipo, basado en la colaboración, en el respeto profesional y en los conocimientos compartidos, genera una dinámica de actuación fluida, eficaz y sobre todo rentable.

- 3 densitómetros (PAAR DMA 5001, PAAR DMA 5000 y PAAR DMA 46)
- baño termostático SELECTA
- baño de ultrasonidos SELECTA
- rotavapor BUCHI
- 2 agitadores magnéticos
- 2 bombas de vacío VACUBRAND y DINKO
- 1 conductivímetro CRISOM de sobremesa y portátil
- 2 conductivímetros portátiles CTS Dist 5
- 2 pHmetros CRISOM de sobremesa
- 1 pHmetro HANNA HI 5222 de sobremesa
- 2 phmetros CTS pHEP4 portátiles
- 1 tritador automático CRISOM de sobremesa
- 2 estufas (MPM Instrument M40-VN y BINDER FED400)
- 1 estufa de mufla HEROTEC HK11
- 2 lupas binoculares Nikon (SMZ600 y SMZ800)
- 1 microscopio OLYMPUS BH2
- 2 básculas de precisión METLER
- 1 báscula de precisión SARTORIUS MSA 10202S
- 3 básculas SCALTEC SSH91
- 1 cámara fotográfica Canon G7X
- 2 microtornos CTS
- 1 lápiz de ultrasonidos
- 1 campana de limpieza mecánica por microabrasión
- 1 compresor portátil
- 1 soplador de aire caliente Leister
- espátula caliente ARTIST CTS

Para el análisis y caracterización de materiales se cuenta con el Servicio de Apoyo a la Investigación Tecnológica (SAIT) de la Universidad Politécnica de Cartagena, que viene colaborando con el museo desde que en 2009 Milagros Buendía iniciara el primer contacto para la caracterización del marfil, que forma parte de su Proyecto de Investigación para la conservación de las 53 defensas de elefante (completas y fragmentadas) del Bajo de la Campana (San Javier, Murcia). Desde entonces el SAIT ha realizado numerosos análisis de bienes conservados en el museo, como, por ejemplo, los realizados con las monedas de la fragata *Nuestra Señora de las Mercedes*, que permitieron identificar los productos de corrosión. Además del SAIT se cuenta con la Universidad Politécnica de Valencia, con quien trabajamos en la actualidad[9].

[9] Entre 2014 y 2015, el Instituto de Restauración de Patrimonio de la Universidad Politécnica de Valencia, bajo la dirección de Teresa Doménech Carbó, ha realizado los análisis del marfil no degradado, marfil arqueológico anegado y plastinado. En el proyecto de investigación para la conservación de marfil arqueológico anegado, las defensas de elefante del Bajo de la Campana (San Javier, Murcia), también contamos con Rafael Latorre y Octavio López de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Murcia, Ian Godfrey y Kalle Kasi del Western Australian Museum, Rafael Fort y Mónica Álvarez del Instituto de Geociencias IGEO (CSIC-UCM), Sandra Ricci y Federica Antonelli del Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro de Roma, Juan Luis Arsuaga, Jaime Lira del Centro Mixto (UCM y el Instituto de Salud Carlos III de Evolución y Comportamiento Humanos) y Patrícia Chrzanová (Universidad de Copenhague, Dinamarca).



Figura 6. Vista general de la zona B. Fotografía: Archivo Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

La zona B (Figura 6) es un espacio polivalente, no climatizado, en el que se encuentran los armarios compactos y estanterías para el almacenamiento de materiales arqueológicos (principalmente silíceos, líticos y metales). Con la llegada del cargamento de la fragata *Nuestra Señora de las Mercedes* en 2012 hubo que trasladar el anforario de los almacenes 1 y 2 del museo a ARQVAtec, organizado por yacimientos y años de campaña de actuación arqueológica subacuática. Tanto las estanterías como los compactos albergan el material siguiendo el mismo criterio de procedencia geográfica, en el que actualmente trabajamos para una normalización de los sistemas de embalaje, estrategias de conservación, almacenamiento y control documental, en el marco del Plan de Conservación Preventiva del museo[10].

Estos bienes almacenados, cerámica, metal, mineral y lítico mayoritariamente, se distribuyen en:

1. 13 compactos que procedían del antiguo MNAM-CNIAS, materiales de naturaleza diversa procedentes de las diferentes excavaciones arqueológicas subacuáticas realizadas en la Región de Murcia.
2. 50 estanterías que conservan las ánforas procedentes de los almacenes 1 y 2 del museo.
3. Materiales líticos y metales en palets.

[10] Trabajo en desarrollo llevado a cabo por las autoras de este artículo, siguiendo las directrices y documentos emanados del Plan Nacional de Conservación Preventiva.

En 2011 se construyó una cámara acorazada de 20 m² para albergar el material de la fragata *Nuestra Señora de las Mercedes* que estuviera en proceso de documentación y conservación, trabajos que finalizaron en junio de 2023[11]. Es el único espacio en esta zona B que cuenta con control de humedad relativa y temperatura, así como de seguridad.

El material arqueológico conservado en ARQVAtec ha sido objeto de numerosos *Practicum*, como los realizados con la Guardia Civil (2015-2019) o el más reciente, el II Curso Interdepartamental sobre protección del patrimonio cultural subacuático (2023), organizado por la Dirección General de Patrimonio Cultural y Bellas Artes, a través de la Subdirección de Gestión y Coordinación de Bienes Culturales y de ARQVA.

La zona B almacena las embarcaciones del museo, una neumática y otra rígida de mayores dimensiones, el equipo de carga de botellas, según normativa de seguridad, así como material variado distribuido en estanterías a lo largo de su perímetro, desde cajas ranuradas normalizadas hasta los recursos museográficos utilizados en el montaje de exposiciones. Asimismo, dispone de unos armarios con los equipos de náutica-buceo y un despacho destinado a los trabajos desempeñados por el área de arqueología.

2.2. Primera planta

En este espacio hay un aula para formación donde se han realizado cursos como los siguientes: el Curso de iniciación a la restauración del material arqueológico subacuático en 2012, organizado por el museo; el Curso de Protección del Patrimonio Cultural Subacuático para la Guardia Civil en 2014, organizado por el museo en colaboración con la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia; el Curso de formación para América Latina y el Caribe sobre Protección del Patrimonio Cultural Subacuático. *Practicum*, en 2018, organizado por la Dirección General de Bellas Artes y Patrimonio Cultural, la AECID y el museo; o el Curso de Especialización en Patrimonio Marítimo Cultural Iberoamericano, organizado por la Universidad de Alcalá de Henares en 2022, entre otros (Figura 7).



Figura 7. Vista general del aula de formación. Curso de Especialización en Patrimonio Marítimo Cultural Iberoamericano (2022). Fotografía: Archivo Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

A través de los *Practicum* y de los cursos de formación, desarrollados tanto en el museo como en ARQVAtec, se señala la necesidad de contar con una adecuada formación, competencia y cualificación en arqueología subacuática, como ponen de manifiesto

[11] Nos referimos al «Proyecto de documentación y estabilización del conjunto numismático y cuatro lingotes metálicos recuperados de la fragata Nuestra Señora de las Mercedes», cuya dirección técnica la ocupaba Soledad Díaz, hasta su jubilación, cuando en septiembre de 2022 se designa como nueva directora técnica a la conservadora-restauradora María Turégano Botija (Pérez, 2023, en prensa).

el *Libro Verde* (2010) o las normas 22 y 23 del Anexo de la Convención Unesco 2001, de la misma manera que se exige para otros profesionales de cualquier ámbito. Los laboratorios son lugares donde los alumnos en prácticas, desde 2015 de forma ininterrumpida, pueden formarse durante unos meses, como complemento a sus prácticas laborales, lo que se ha venido realizando en los últimos años en colaboración con las universidades y otras instituciones centradas en la investigación y formación científica.

En 2022 se acondicionaron una serie de espacios para oficinas, que estaban en desuso desde 2010, dotándolas de los medios necesarios para llevar a cabo las tareas administrativas correspondientes.

3. Conclusiones

A raíz de los cambios en las legislaciones y normativas promovidos por la Carta del ICOMOS sobre la Protección y la Gestión del Patrimonio Cultural Subacuático (1996) y el Anexo de la Convención de 2001, sin olvidar las directrices del ICOM e ICCROM, son cada vez más los países que exigen la presencia de profesionales acreditados en el campo de la conservación del PCS. Insistimos en que hay que distinguir entre conservar y restaurar, como ya señalaba Carmen Pérez de Andrés, y que los trabajos que se realicen causen el menor «daño» posible a nuestro PCS y redunden al mismo tiempo en el mayor beneficio para la sociedad y en un incremento de nuestra comprensión del pasado. Como señalan Maarleveld, Guérin y Egger (2013, pp. 180-182), la conservación y restauración del PCS exige un conocimiento exhaustivo del entorno del pecio, los objetos que contiene y la yuxtaposición de objetos y estructuras en toda su extensión. Y, muy especialmente, la importancia que tiene cada bien con relación a los objetivos de la investigación en conservación, que debe ser publicada en revistas científicas y puesta a disposición del personal interesado, de lo contrario se produce una merma considerable en la protección de un PCS que se debe destinar al disfrute del público y las generaciones venideras.

Es imprescindible promover la especialización atendiendo a los problemas específicos que plantea cada tipo de material en el marco de una deontología profesional que permita desarrollar los múltiples trabajos que la conservación del PCS precisa, en la línea que ya planteaba la conservadora-restauradora Carmen Pérez de Andrés, así como los protocolos de recepción de materiales de procedencia subacuática, la normalización de los procedimientos de conservación-restauración, o los programas de conservación preventiva o de protección de colecciones ante emergencias. La conservación del PCS requiere de personal cualificado que pueda desarrollar sus funciones, tal y como establece la normativa y deontología profesional, y que trabaje de forma transversal con otras áreas del museo, como Colecciones, Documentación, Arqueología o Difusión. Siempre dentro del respeto a las funciones de cada uno de los técnicos implicados, como señala Guichen (2013, p. 19), con espíritu de colaboración, dejando a un lado la competencia o la búsqueda de poder. El papel del conservador-restaurador en la salvaguarda del patrimonio es fundamental y debe estar presente en la toma de decisiones en el museo, en igualdad de condiciones con otros profesionales que trabajan en el ámbito del patrimonio, idea ya reiterada en la Declaración de Nájera de 2015 (Galán, 2017).

Fuentes y bibliografía

Antona del Val, V. y Martínez Díaz, B. (2019). Carmen Pérez de Andrés (1956-2018). Pasión por la vida, pasión por los museos. En A. Carretero, A. Azor y O. Ovejero (Coords.), *150 años de una profesión: De anticuarios a conservadores* (pp. 887-894). Madrid: Ministerio de Cultura y Deporte.

Buendía Ortuño, M. (2006). *Informe inédito de necesidades del departamento de restauración del Museo Nacional de Arqueología Marítima de Cartagena en su nueva sede*. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

Buendía Ortuño, M. (2007). *Informe inédito de necesidades del departamento de restauración del Museo Nacional de Arqueología Marítima de Cartagena en su nueva sede*. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

Buendía Ortuño, M. (2008). *Informe inédito sobre las condiciones de trabajo del laboratorio de restauración del MNAS-CNIAS*. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

Buendía Ortuño, M., Pérez Mateo, S. y Castillo Belinchón, R. (2021). *Propuesta de proyecto alternativo de extracción y conservación del pecio de época fenicia Mazarrón 2. Informe inédito de 05/03/2021*. Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

Castillo Belinchón, R. y Miñano Domínguez, A. I. (2021). Paloma Cabrera Bonet en el Museo Nacional de Arqueología Marítima y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas (Cartagena, 1989-1992). *Abantos. Homenaje a Paloma Cabrera Bonet* (pp. 1005-1016). Madrid: Ministerio de Cultura y Deporte.

Galán Pérez, A. (2017). La Conservación-Restauración en el marco profesional Europeo: La Reunión de Nájera para el desarrollo Español del Plan Estratégico de E.C.C.O.-Confederación Europea de Organizaciones de Conservadores-Restauradores. *Ge-Conservacion,* 12, 177-180.

Gómez-Gil Aizpurúa, C. (2003). Instalación de un laboratorio de restauración de materiales de procedencia subacuática. *Montebuciero. La conservación del material arqueológico subacuático*, 9, 373-380.

Gómez-Gil Aizpurúa, C. y Sierra Méndez, J. L. (1999). Taller de restauración y laboratorio de química. En: I. Negueruela (Ed.), *Proyecto museológico para la construcción de la nueva sede del Museo Nacional de Arqueología Marítima y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Subacuáticas. Cuadernos de Arqueología Marítima*, 5 (pp. 29-31). Cartagena.

Guichen, G. de (2013). Conservación preventiva: ¿en qué punto nos encontramos en 2013? *Revista Patrimonio Cultural de España*, 7, 15-24.

Maarleveld, T. J., Guérin, U. y Egger, B. (2013). *Manual para actividades dirigidas al Patrimonio Cultural Subacuático. Directrices para el Anexo de la Convención de la UNESCO de 2001*. UNESCO.

Pérez Mateo, S. (2023). *Documentar la historia de un naufragio. El caso de la fragata Nuestra Señora de las Mercedes en el Museo Nacional de Arqueología Subacuática ARQVA* (en prensa).

Pérez Mateo, S. y Buendía Ortuño, M. (2022). El Programa de Conservación en un museo. Estudio de caso del Proyecto Museográfico del Museo Nacional de Arqueología Marítima y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas (Cartagena). *Ge-Conservación*, 21(1), 177-189.

VV. AA. (1988). *La arqueología subacuática en España (Museo Nacional de Arqueología Marítima, Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas)*. Dirección General de Bellas Artes y Archivos.

VV. AA. (2010). *Libro Verde. Plan Nacional de Protección del Patrimonio Subacuático Español*. Ministerio de Cultura.

VV. AA. (2015). *Plan Nacional de Investigación en Conservación*. Madrid: Ministerio de Cultura y Deporte.

ÉTICA Y DEONTOLOGÍA

ETHICS AND DEONTOLOGY

The *Mazarrón 2* within ICOM's Code of Ethics for Museums with Focus on Conservation

Ida Hovmand
Coordinator ICOM-CC Wet Organic Archaeological Materials Working Group
Bevaringscenter Fyn at Langelands Museum, Denmark
iho@langelandkommune.dk

Abstract: This paper is centered around the ethical and legal frameworks concerning the excavation, conservation and exhibition of *Mazarrón 2*, a Phoenician wooden shipwreck. Regional, national and international cultural heritage legislation along with the Unesco Convention 2001 on the Protection of Underwater Cultural Heritage are presented. The philosophical background and the purpose of the ICOM Code of Ethics for Museums are outlined. This code, as well the Code of Ethics of the European Confederation of Conservator-Restorers' Organisations (E.C.C.O) are introduced. Some of the central aspects of conservation ethics are described, with reference to waterlogged wood and ICOM-CC's Working Group on Waterlogged Archaeological Organic Materials. The project parameters are discussed with reference to legislation, especially the guidelines to the Annex for the Unesco Convention of 2001 and specific ethical principles. The concept of stakeholders with regards to the project structure and design is highlighted. Furthermore, an organisational structure of the project is proposed and commented upon.

Keywords: Ethics, ICOM Code of Ethics for Museums, legislation, *Mazarrón 2*, interdisciplinary cooperation, conservation

Resumen: Este trabajo se centra en los marcos éticos y jurídicos relativos al proyecto de excavación, conservación y exposición del *Mazarrón 2*, un pecio de madera de época fenicia. Para ello, se relaciona la legislación regional, nacional e internacional sobre patrimonio cultural que le afecta, junto con la Convención de la Unesco de 2001 sobre la Protección del Patrimonio Cultural Subacuático. También se esbozan los antecedentes filosóficos y la finalidad del Código Deontológico del ICOM para Museos, y se introduce al Código Ético de la Confederación Europea de Organizaciones de Conservadores-Restauradores (E.C.C.O.). Asimismo, se describen algunos de los aspectos centrales de la ética de la conservación, con referencia a la madera anegada y al Grupo de Trabajo del ICOM-CC sobre Materiales Orgánicos Arqueológicos Anegados. Además, se discuten los parámetros del proyecto en relación con la legislación, especialmente las directrices del Anexo de la Convención de la Unesco de 2001 y los principios éticos específicos, y se destaca el concepto de «partes interesadas» en relación con la estructura y el diseño del proyecto. Finalmente, se propone y comenta una estructura organizativa del mismo.

Palabras clave: Ética, Código Deontológico del ICOM para Museos, legislación, *Mazarrón 2*, cooperación interdisciplinar, conservación.

Introduction

The foundation of this paper is a presentation given at the International Experts Meeting hosted by the Ministerio de Cultura y Deporte and Región de Murcia, Spain held at ARQVA in Cartagena 5-7th of May, 2022. The background for the meeting was the decision made by the Spanish Government and the Regional Government of Murcia to launch a programme to excavate and conserve the wreck of *Mazarrón 2*, a Phoenician wooden shipwreck positioned in the waters off the coast of Mazarrón in Murcia, Spain.

(Ministerio de Cultura y Deporte y Comunidad Autónoma de la Región de Murcia [MCD y CARM], 2022). ARQVA, the National Museum of Underwater Archaeology has been involved in monitoring and excavation of *Mazarrón 2* since its discovery. The conservation of *Mazarrón 2* will be undertaken at ARQVA's conservation laboratory, ARQVA*tec* (MCD y CARM, 2022). This paper describes some of the ethics and deontological issues that an interdisciplinary project such as the one around *Mazarrón 2* can present, by placing them within the framework of ICOM's Code of Ethics for Museums. In this case, with a special emphasis on conservation. Finally, the concept of ethics and three different types of ethics are introduced.

Ethics

An introduction to Ethics

Ethics are concerned with the philosophical study of morality. A number of different theories exist that can be applied to how we think of and enact concepts such as good and bad, right and wrong (Law, 2007). «Ethics is sometimes described as the science of conduct» (Murphy, 2016, p.53). In other words, ethics is concerned with how we critically reflect on what values are, and how we apply those thoughts to our actions and behaviour. Within normative ethics there are three main theories:

Aristolian or Virtue Ethics

Aristolian ethics are fundamentally about «how to live a good life». This requires the ability of trust, courage and justice, all deemed ethical virtues which in turn were based on reason (Hooker, 1996; Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2022). 'If we feel emotions, desires, and make choices «well» (virtuously), we feel and choose '«at the right times, with reference to the right objects, towards the right people, with the right motive, and in the right way» (Law, 2007, p.108-109), then it will be possible for us to live a good life. Practical wisdom, the experience of lived life and the knowledge it gives us is central to virtue ethics. According to Aristotle's ethics it is only through practice, that the skills and experience can be acquired, which enables us to place general understanding of well-being appropriate for the individual situation at the center of our actions (Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2022).

Utilitarian or Consequentialist Ethics

Utilitarianism is a theory that promotes the idea that «an action is right or good, if it leads to «the greatest happiness for the greatest number of people it affects» (Law, 2007, p.102). It is thus a consequentialist theory as it is the result or outcome of an action which gives it moral value.

Deontological or Duty Ethics

Deontology is concern with duty-based ethics, i.e. morality is a matter of duty and is the opposite of consequentialism (Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2020). In the case of deontology, actions are understood in terms of intentions and these can be seen as right or wrong (Law, 2007). It is thus the means (to get to the outcome or result) which has a value, that will decide whether it is perceived as morally good or not.

Ethics and Professions

Even though ethics have traditionally been associated with the individual's thought and critical reflection, codes of ethics are quite common among groups or professions. Edson (2017) states that «Composed of ideals and values that guide individuals and group conduct, ethics are value statements, such as duties, roles and interferences that incorporate ideas» (p.10) and that is the intention and aim of the ICOM Code of Ethics for Museums (See section on the purpose of ICOM Code of Ethics).

Ethics and the Law

According to Murphy (2016) «Ethics extends beyond the quantitative limits of the law by enlarging its qualitative scope and reach within the broader sphere of social conduct» (p. 36). There are thus distinct differences between ethics and the law, even though sometimes ethics are reflected in law. Law consists of a set of rules constructed by governments that has the intention of regulating actions. They can be binding regionally, nationally or internationally. If not adhered to, penalties can be imposed (Surbhi, 2018).

Table 1
Morality, Ethics and Law*

Law	Ethics
Defined by government	Defined by individual and community
Based on concepts of justice and equality	Based on how we define a "good", worthwhile, or meaningful life
Formal rules or complex problems	Informal guidelines for resolution of complex problems
Minimum standards of behavior ("at least")	Some uniformity; respectful or diversity
Coercive (penalties for misconduct)	Ideal or aspirational ("better" or "best")
Rules of law enforced by regulatory authorities and courts	Noncoercive ("dictates of conscience")
"Must"	Standards and exhortations by custom, professionals' standards, discussions and persuasion.
	"Should"

After Horner, (2003. p. 270).

* Widely held societal values (universal, ultimate, impartial, other-regarding).

Mazarrón 2 within the legal framework

ICOM's code of ethics is thus not the only framework that must be considered in relation to the project of saving *Mazarrón 2*. Several laws must be consulted. International, national and regional laws as well as conventions must be followed when planning, constructing and undertaking the task of excavating, conserving and curating/accessioning the wreck into a museum collection. For instance:

The national law 16/1985 dated 25th of June, on Spanish Historical Heritage (Boletín Oficial del Estado [BOE] 155) sets out how heritage is covered by this legislation. It also states in article 6 «For the purpose of this Law, the organizations considered responsible for enforcing it shall be understood to be:

a. Those in each autonomous community responsible for protection of the Historical Heritage.
b. Those of the State Administration when it is expressly stated or it becomes necessary for them to intervene to defend property belonging to the Spanish Historical Heritage against illegal export and spoilation» (European University Institute).

It is furthermore stated in the same law, title V, On Archaeological Heritage, Article 40, 1 «According to the terms of this law, movable or immovable property of a historical nature that can be studied using archaeological methodology forms part of the Spanish Historical Heritage, whether or not it has been extracted and whether it is found on the surface or under ground, in territorial seas or on the continental shelf» (Ley 16/1985, BOE 155).

The above is echoed in law 4/2007, dated 16th of March, on Cultural Heritage of the autonomous Region of Murcia, where it is stated in chapter III, title III article 54, 1 »The archaeological heritage of the region of Murcia includes movable property and buildings of a historical nature that can be studied with an archaeological method, whether or not they were extracted, whether they are on the surface, under ground or under the waters» (Ley 4/2007, BOE 176, p.28).

Although mentioned in a general sense, none of these laws deal specifically with underwater heritage. However, the Museo Nacional de Arqueología Subacuática (the National Museum of Underwater Archaeology), ARQVA, is itself written into a law: Real Decreto 1508/2008, Article 2b states that »the purpose of the National Museum of Underwater Archaeology is to recover, collect, preserve and make available to citizens cultural property belonging to the underwater archaeological heritage« (Real Decreto 1508/2008, BOE 248, p. 41177). Members of the regional and national government are represented on the board of trustees of ARQVA. The president of the board is the Spanish minister of Culture and Sport, among the board members are the president of the Region of Murcia and the General Director of Cultural Heritage of the Region of Murcia (Real Decreto 1508/2008, BOE 248, p. 41177).

In other words, the *Mazarrón 2* project is directly tied to (at least) three different Spanish laws on cultural heritage as well as to international conventions. Spain ratified the 2001 Unesco Convention on the Protection of Underwater Cultural Heritage in 2005 (Ministerio de Cultura, 2010, p. 123), and therefore this very important legislation also must be taken into account. According to the Green Paper «National Plan for the Protection of Underwater Cultural Heritage», the Unesco Convention has, since it was officially published in Spain in 2009, «formed a part of Spain's domestic legal system taking precedence over any legislative act whether prior or subsequent to that date» (Article 96.1 of the Spanish Constitution) (Ministerio de Cultura, 2010, p. 164). The authors of the same publication recommend that a future Spanish Cultural Heritage Act contains regulations that sets up a coordinated system between the different public administrations involved (Ministerio de Cultura, 2010, p. 164). This point is further elaborated in the section on priority action by the suggestion of: «enhancing the effectiveness of protecting instruments by seeking collaboration between the different administrations involved in the protection of underwater Cultural heritage (national, regional, local, state police and security forces and the Navy) in so doing, devising regulations and institutional procedure» (Ministerio de Cultura, 2010, p. 210).

It is, thus, not only the cultural heritage law mentioned above the one that has to be considered by the authorities, but also naval legislation. The texts underpin that a need for collaboration between national and regional decision-makers is necessary, which is also acted upon by the Spanish Government and the Regional Government of Murcia in relation to the project of the *Mazarrón 2*. Both parties are furthermore represented on ARQVA's board of trustees and therefore also cooperate through this institution.

Unesco, ICOM and background for the ICOM Code of Ethics for Museums

The United Nations (UN), an intergovernmental organization (IGO), was established in October 1945 as a consequence of the 2nd World War and as part of it, the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Unesco) was created. The Constitution adopted at the first Unesco General Assembly in November 1946 states the importance of free flow of ideas by word and image, of conserving and protecting works of art and of the exchange of persons and artistic and scientific objects (Rössler & Hasyashi, 2016, p. 81). Unesco conventions define rules which

countries that ratify them undertake to comply with. The Convention on the Protection of Underwater Heritage was adopted by Unesco in 2001 (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [Unesco], 2001).

The International Council of Museums (ICOM) was founded in 1946 as a non-governmental organization (NGO) to pursue international cooperation between museums through that specific professional network, and to act as a partner body for Unesco. (Murphy, 2016, p. 21). Unesco has a long involvement in museums all over the world through its legal instruments, i.e. museums are covered indirectly through its Conventions, such as the 1970 and 1972 Convention, but also in the Recommendations of 1960 and the latest from 2015 (Rössler & Hasyashi, 2016, p. 91) «ICOM's longest-standing IGO relationship is with the pivotal world body for culture and heritage, Unesco» (Murphy 2016, p. 21).

In 1986 ICOM's first Code of Professional Ethics for Museums was issued, followed by an interim document in 2001 and the current version from 2004 (ICOM's etiske regler, 2006, p.26).

«The *ICOM Code of Ethics for Museums* sets minimum professional standards and encourages the recognition of values shared by the international museum community. This reference tool provides guidance and is presented as a series of principles supported by guidelines detailing expected professional practice. It was drafted in a cross-cutting manner and conceived as an instrument of professional self-control. ICOM members must accept and comply with the Code's rules» (International Council for Museums [ICOM], 2022).

The Purpose of the ICOM Code of Ethics for Museums

The purpose of group ethics, such as the ICOM Code of Ethics for Museums, can be described as customs and codes that monitor the individual's behaviour for the benefit of the group. Professional ethics are based on values and ideals that guide the profession in the changing environment in which its members have to perform their services (Edson, 2017). The significance of the ICOM Code of Ethics for Museums is that it relates to the responsibilities of the museum profession which can be defined as a scholarly profession, who serve many clients (groups) (Edson, 1997). The purpose of the Code is thus to give all who work in or with museums a common framework of conduct; volunteers, board of governance, senior as well as junior employees regardless of their function and responsibility, as well as consultants with whom the museum engages (Murphy, 2016; Gardner, 2011; Edson, 1997). The purpose of museums is to serve others; to serve society and is described in the definition approved at ICOM's Extraordinary General Assembly in Prague 2022 «A museum is a not-for-profit, permanent institution in the service of society that researches, collects, conserves, interprets and exhibits tangible and intangible heritage. Open to the public, accessible and inclusive, museums foster diversity and sustainability. They operate and communicate ethically, professionally and with the participation of communities, offering varied experiences for education, enjoyment, reflection and knowledge sharing.» (ICOM, 2022).

The ICOM Code of Ethics consist of eight statements and a set of principles for each statement supported by guidelines. The ICOM Code of Ethics for museums exists in order to guide and aid the profession so that it may act according to the definition «They operate and communicate ethically» (ICOM, 2022). The Code thus provides an explicit and mandatory guideline for member museums as well as individual members' «standards and conduct» (Schärer, 2016). Edson (1997) explains that «a code of ethics has a number of functions, … The first relates to guidance of the museum professionals in fulfilling their responsibilities, and the second emphasizes protection of the museum constituencies from substandard services» (p.108).

As public institutions, museums are obliged to manage their affairs properly. «Museums as custodians of the cultural and natural heritage of a people, region, nation must function, as nearly as possible above reproach» (Edson, 2017, p.8). It therefore follows that the ethical guidelines do

not apply only to the (salaried) staff at museums. «Volunteers and trustees should also follow the ethics» (Edson, 1997, p.113).

Furthermore, the code of ethics is also a signal from the museums to the public «ICOM Code of Ethics seeks to ensure and uphold public trust in museums, which continues to be close to the core of its mission of social service» (Murphy, 2016, p.20).

The code has become part of the national legislation of many different countries with regards to museums and cultural heritage protection (Schärer, 2016). However, that is not the case universally and some experience that it is not effective without legality. On the other hand, many ICOM members consider the Code to be a benefit, «considering each profession needs a code of ethics and that the sheer existence of both the Code and the Ethics Committee is of great value» (Shärer, 2016 p. 16).

The Philosophical background of ICOM Code of Ethics for Museums

Several authors of books and articles describe how and why ethics are an important part of museum management and the professional life of museum workers: Gardner, (2011); Murphy, (2016) and Edson, (1997, 2017). Murphy's book «*Museum, Ethics and Cultural Heritage*» (2016) with contributions from different authors, written in celebration of ICOM's 70th Anniversary addresses the development of the Code of Ethics and its use. The philosophical background to museum ethics as well as ICOM's Code of Ethics has especially been addressed by Edson (1997 and 2017). «Duty and responsibility are basic to ethical conduct, and people working in museums must understand the idea of duty, because the nature of the duty (based on deontological ethics) is obvious as it relates to the museum community» (Edson, 2017 p.57).

The philosophical background for the ICOM Code of Ethics for Museums is thus deontology, duty ethics. This is quite evident in the phrasing of the statements, principle and guidelines of the Code itself. The term is furthermore used in the title of the code in both French and Spanish; «El Código de Deontología del ICOM para los Museos».

In the case of the ICOM Code of Ethics each of the principles is a «point of attention». There will be a number of different routes of action that will be in line with the principles. In this way principles and guidelines act as a funnel in some respect, their wording guiding decisions towards an ethical outcome. «Museum ethics … does not deliberate on the outcome of an action, but considers the means that promote the end (Edson, 2017, 142). The background for the code being a deontological code may be led back to the museum definition and the word «service», in other words it is the museum's duty to service society.

Conservators-Restorers' Code of Ethics, Objects, and Conservation of Waterlogged Organic Archaeological Material

Specialists who work in museums may not only have to consider the ICOM Code of Ethics, but also a professional code of their own specialization. Conservators-restorers have their own guidelines through for instance the European Confederations of Conservator-Restorers' Oganisations «E.C.C.O Professional Guidelines (II) Code of Ethics» (European Confederation of Conservator-Restorers' Organisations [E.C.C.O], 2003).

These are supported for instance by «ICOM-CC's «Definition of the profession (1984) The Conservator-Restorer: A Definition of the Profession», which states that «the activity of the conservator-restorer (Conservation) consists of technical examination, preservation and conservation-restoration of cultural property» (International Council for Museums - Committee for Conservation [ICOM-CC], 1984). In museums that generally relates to the tangible heritage in the form of artefacts in collections. According to Caple (2000) objects are historical documents and

aesthetic entities. As a historical document, the object contains information about the materials it is made from and how it was made, along with the evidence left by the object's use and the environments where it has been kept. The aesthetic qualities relate to the visual, sensory and audible impression the object leaves in the observer, which is based on the physical manifestation of the object (p. 29). In relation to the physical integrity of the object, are the factors which can be measured or identified, such as strength, size, weight, material, density etc. The proportions of these two concepts will be different from object to object and how they are balanced will depend on the observer and to some extent, the meaning and value the viewer contribute to the objects. «It is essential that the conservator fully appreciate all aspects of the object as a historic object and aesthetic entity, prior to conservation» (Caple, 2000, p.30). Roemer (2016) adds to this.» Conservation investigation for analysis of the tangible aspects and their interpretation within context and environment also identifies potential inherent value associations» (p.256-257). Furthermore, some objects will also have spiritual and religious values attributed to them, which can (also) influence how the object is perceived, a factor the conservator-restorer should also appreciate and respect. These three factors, along with some key concepts that are identified as important ethical values in relation to conservation, make up a framework within which the conservator-restorer acts.

The terms «minimal intervention» and «reversibility» have been and still is considered important concepts in relation to conservation ethics and practice. However, it is now understood and agreed that a broader understanding of the terms should be applied if they are to be useful and make sense. According to Caple (2000) «The problem with minimal intervention is that it is not a complete statement. The minimum intervention to achieve what?» (p. 65). He goes on to state that minimal intervention must be defined for a given object over a given time in a given set of conditions (Caple, 2000, p. 65). In his paper «On Minimal Intervention» Viñas (2020) also points out the paradoxical nature of the term, and summarises «The principle of minimal intervention can be misleading, as it does not call for minimal intervention at all; and secondly; the principle only makes sense if it is not followed strictly» (p. 53). Perhaps the phrasing in article 8 of E.C.C.O Code of Ethics is easier to interpret and understand:» The conservator-restorer should take into account all aspects of preventative conservation before carrying out physical work on the cultural heritage and should limit treatment to only that what which is necessary» (E.C.C.O, 2003). To this could be added for the sake of clarification «for a given object over a given time in a given set of conditions» (Caple, 2000 p. 65).

In relation to conservation, the term reversibility is used with regards to addition of new materials to the object. Any material introduced (in/on) to the object must be removable. Reversibility has been a key concept in conservation since the 1960's (Caple, 2000, p. 63), and is still found in the ICOM Code of Ethics Principle 2.24 «All conservation processes should be documented and reversible» (ICOM, 2004) and in article 9 of the E.C.C.O Code of Ethics «…They (added products) should be compatible with the materials of the cultural heritage and be easily and as completely reversible as possible» (2003). The last part of the sentence, «as possible» is the determining factor. The concept of complete reversibility has proven to be just that: a concept. «As has been argued from both the scientific perspective and conservation perspective, it is not possible to achieve full reversibility in conservation» (Viñas, 2011). Even so, it is still an aim to aspire to being able to undo what has previously been done, if retreatment of the object becomes relevant in the future (Caple, 2000, p. 64). Viñas (2011) concludes that:

> Both notions of reversibility and the notion of minimum intervention are very useful if properly understood… Reversibility is not a requirement, but an ideal to be pursued whenever possible. The principle of minimum intervention is a reminder that conservation is done for specific reasons, and that there is no need to overdo it (pp.191-192).

Conservation ethics advocate using only stable materials which are compatible with the object, so that they do not affect the objects negatively over time (Caple, 2000, p.110 and E.C.C.O, 2003). Horie (2010) phrases it as «Conservators must know about the added materials before decisions on

whether and how best to incorporate a material into a treatment for an object.» (p. IX) In other words the materials must behave in a certain way. This requires the materials to be tested scientifically, so that their properties and behaviour are known (when exposed to «the museum environment» for a given period of time). However, it is not only the material that has to be stable, but the combined material/object entity that has to be stable. Viñas (2011) cites that practicing, hands-on conservators often experience that materials do not behave in the way they should (p.123) and he goes on to say that «While much research has been done in laboratories to characterize and understand the physical and chemical reactions of conservation, objects in reality stubbornly refuse to abide by theoretical formulas» (Viñas, 2011, pp.123-124). This is probably the reason why many commercially available product instructions advise «to test on a small invisible spot, before applying to the whole». This is sound advice to conservators, also those who work with waterlogged archaeological objects.

ICOM-CC's Wet Organic Archaeological Materials Working Group has for over 30 years undertaken research into the «ethical-concepts» discussed above, and the physical characteristics of waterlogged organics and their interaction with added materials, treatments and long-term behaviour. The Group's working programme encourages research into both practical and ethical aspects of the preservation of waterlogged organics. Recently, new research by, Stelzner, Martínez-García *et al.* (2023) has shown that maybe our understanding of the methods used to assess (successful) physical treatment parameters such as shrinkage, cell collapse and cracks have been too simplified. «A systematic evaluation and comparison of conservation methods considering the three-dimensional inner structures is missing for most of the methods» (p. 96). The CuTAway project led by Ingrid Stelzner is addressing some of these issues, see for example Stelzner, (2021) and Stelzner, Martinez Garcia et al. (2023), «A Comparative study of conservations methods for waterlogged wood – a review of the 'Cutaway'- project» in this publication. These (physical) parameters, mentioned above, influence the object as an aesthetic entity, but also the object as a historical document, and are therefore important. The Wet Organic Archaeological Materials Working Group Triennial programme 2020-2023 (International Council for Museums-Committee for Conservation [ICOM-CC], n.d.) represent not only specific issues that concern specialists in waterlogged wood/organics conservation, but the concerns of society (ethical issues) can also be seen reflected; for instance, «sustainability», which is on the agenda of the United Nations (UN, n.d.). Therefore, one of the most recent topics in the working programme is «Exploration of different sustainable concepts and methods within our field: for example, comparison of different materials used for impregnation, regeneration/reuse of materials used during treatment, methods used to reduce microbial growth during storage and impregnation of waterlogged organics» (ICOM-CC, n.d.). A topic that produced 3 very interesting papers (Ito, Yasuki, Matsui *et al.*, 2023; Mikkelsen, Frydendahl, Jensen *et al.*, 2023 and Walsh-Korb, 2023) at the most recent Working Group Interim Conference in early 2023.

It is thus recommended to consider not only a material's or method's suitability in relation to conservation/preservation, but also aspects of sustainability, regarding for instance production and disposal of such materials as well as the design of the process itself.

Other Codes of Ethics

The archaeological profession has a similar code and principles to those of conservation, devised by the European Association of Archaeologists (European Association of Archaeologists [EEA], 2009), which is also appropriate to consider. Other participating professional groups may also have ethical guidelines to consult.

Decision-makers and Stakeholders

As describes in previous sections, ethics relate to people; in this case for instance board members, employees and the publics. Another term for people engaging with cultural heritage in museums

or in a project such as the *Mazarrón 2* is stakeholders. A stakeholder can be defined as an individual, group of persons or an organization that can affect or is affected by the decisions of an(other) organization. In a project of the size and importance of *Mazarrón 2*, decision-makers and stakeholders will exist at several levels and will be directly or indirectly involved in different parts of the process to a greater or lesser extent. Some are represented due to their legal obligations; both region and state, others in their professional capacity as museum representatives; specialists in the museum, for instance archaeologists, curators and conservators, conservation scientists, exhibition designers and education, outreach personnel and trustees. Furthermore, other specialists from for example educational organizations and/or private firms as well as international colleagues may be consulted in line with principle 8.11 of ICOM Code of Ethics which state that: 'It is a professional responsibility to consult other colleagues within or outside the museum when expertise available is insufficient in the museum to ensure good decision-making» (ICOM, 2004). A third group of stakeholders can be the local community or authority, and specific interest groups, for example divers, media and businesses. In the report «Who is not a stakeholder in heritage?» a stakeholder is described as a person, group, community of interest or organization, investor business or fields of activity. Local, regional, national and European public authorities, but also professionals (international), non-governmental organizations, the voluntary sector and civil society, defines specifically heritage stakeholders (Almevik,, Hannes, Golfomisou *et al.*, 2022, p. 11). The value or importance of a heritage object, such as *Mazarrón 2*, to stakeholders can be based on several factors, for example political, economic, intellectual or sociocultural. Another way to look at this is through the concept of «meaning». A person for whom an object is meaningful, can be called a heritage stakeholder (Viñas, 2011, p. 161). According to Henderson and Nakamoto (2016) «Stakeholders in conservation decisions could be defined as people who attribute value to an object or collection and by sharing this, they enable conservation to maintain its social and cultural value during conservation» (p. S2.68). Conservators in a museum setting will often work closely together with a range of stakeholders such as curators, scientists, archaeologists, historians, collection managers, outreach/education personnel, exhibition designers and sometimes the public. They thus become experienced in considering what may from the outset seem like conflicting needs. As O'Grady (2021) states «The participation of stakeholders through transparent communication and collaborative consultation is an accepted tenant of conservation decision-making in the 21st Century».

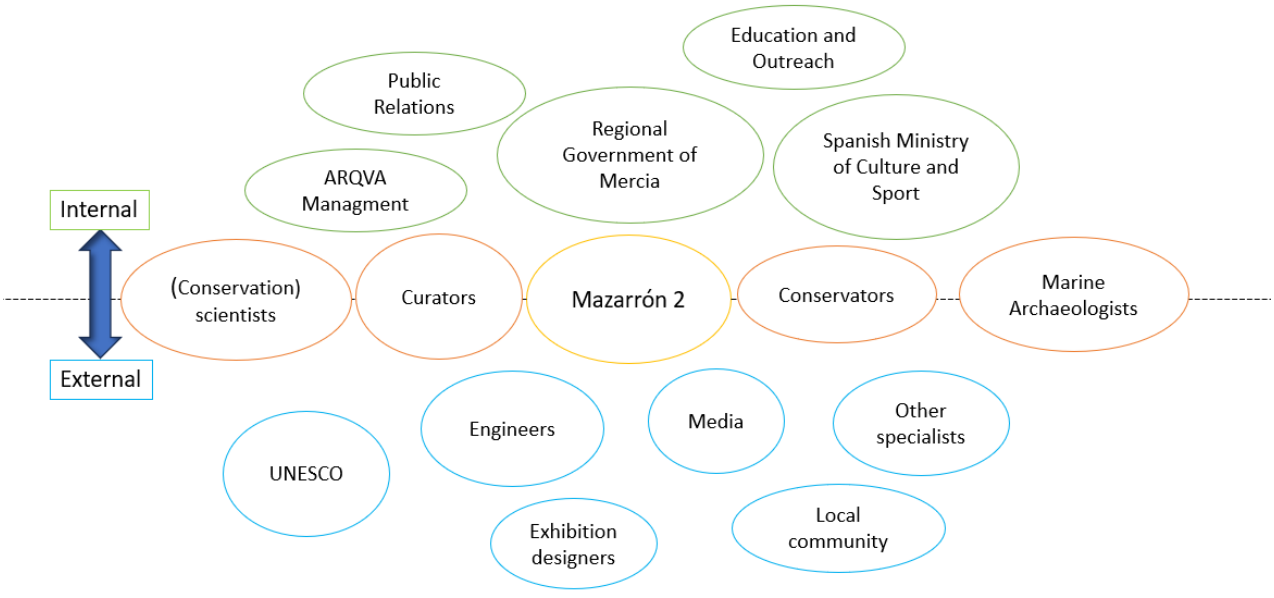


Figure 1. Potential Stakeholders of *Mazarrón 2*.

Structure, design and process of the project

In a project of this type, many direct and indirect stakeholders on strategic, tactical and operational levels are involved. As a result of this, different ethical values and perspectives may be brought to bear on the project. The organization and structure of the project can be designed to encompass them. This does require (excellent) planning, communication, collaboration and transparency; parameters which are likely to greatly influence the success of the project.

In the words of the experienced ship and boat conservator and scientist Per Hoffmann (2013)

> The conservation of a ship or boat is an extensive and many-sided enterprise. It begins in the excavation pit and ends in the museum. It takes years and is expensive. Therefore, the design of a coherent project is necessary and requires careful planning of the individual steps: salvage and transport; conservation; restoration and presentation. These steps need to be coordinated at an early stage of the project so that demands and processes can be foreseen and taken into consideration while there is enough time to arrange for a smooth and efficient sequence of operations. The conservation of ships calls for collaboration with specialists exhibiting staying power and tenacity in various fields. It is a rare and rewarding adventure (p. 4).

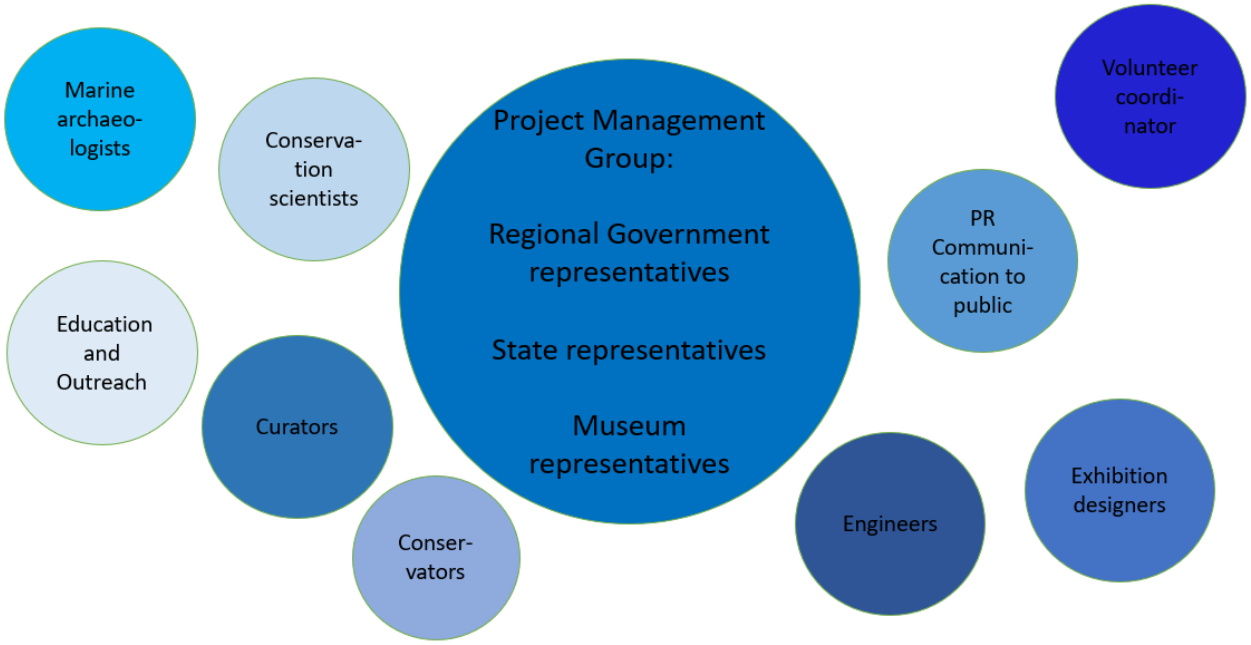


Figure 2. Potential collaborative Professions, Bodies and Groups

Working Groups and management Groups

With reference to the recommendation made in the Green Paper «National Plan for the Protection of Underwater Cultural Heritage» (Ministerio de Cultura, 2010, p. 210) the different administrations (national, regional, local, state police and security forces and the Navy) involved in the protection of underwater Cultural heritage should seek collaboration and in doing so, devise regulations and institutional procedure.

A strategic management group/project owner group with representatives from for example the Spanish Ministry of Culture, the Regional Government of Murcia, their Ministry of Culture and other related government bodies as well as ARQVA is necessary to make strategic decisions and oversee the project. To aid and support (the decision-making process) this group, the expertise and

advice of a technical inter-professional tactical/operational group, and potentially of other non-technical stakeholder groups is required.

It is advised that an inter-professional group is established with the team leader of each of the operational technical/professional specialist teams (for example conservators and archaeologists) being represented. It will be desirable to add other members (ad hoc) to this group, for example conservation scientists, engineers and exhibition designers. The purpose of the interdisciplinary group is to discuss the process of extraction and conservation through to exhibition and make suggestions as to how the process is handled and the different procedures undertaken, in other words an operational project management plan. It must be iterated that for the success of the project, it is important to consult with the tactical/operational personnel, the ones who will physically and on a day-to-day basis be undertaking the work as they have the expertise to undertake this type of assignments. It is also strongly advised that the team leaders of each group are a person who will be attached to the project during its «active» lifetime (from planning to exhibition) and working in more than an advisory capacity.

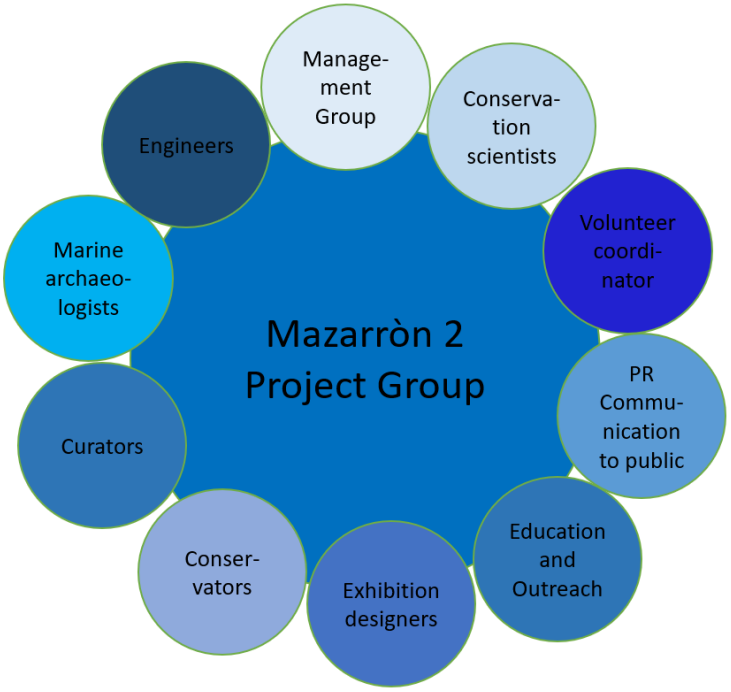


Figure 3. Example of a *Mazarrón 2* Project Group.

This group with representatives of different areas of expertise/disciplines should meet regularly, both in the development stage and while the work is being undertaken, to exchange knowledge and feedback. This should be incorporated into the project design. Team leaders of the specialist groups must as mentioned be appointed and the tasks and functions of the individual team members assigned in all groups. The inter-professional group should report to and advise the management group and give information and feedback to their specialist groups. The functions and task of all participants in the project (design) in all formal groups should be clear to all.

The intention and function of these working groups/teams on which ever level or composition is to give (professional and collegial) dialogue a formal setting. A place for different perspectives to be explored and common value and goals to be developed.

Project timetable

To aid the planning and management of the product, a timetable and timeline should be established to show when specific parts of the project is to be undertaken. Often several processes will have to take place at the same time.

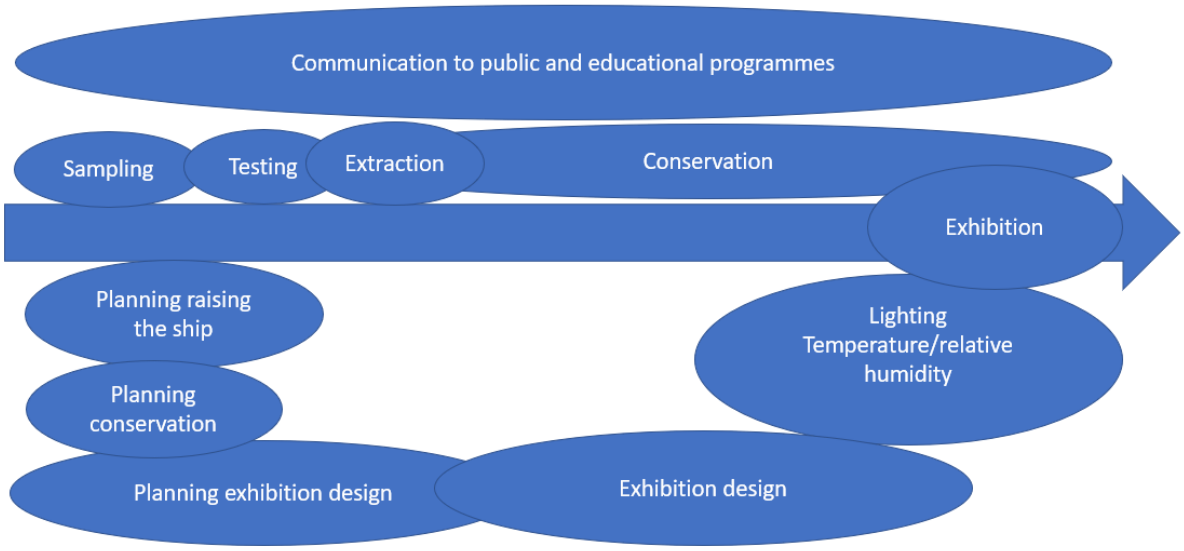


Figure 4. Example of a Project Timetable

Communication, Public Relation and Out Research

A project of this size and importance requires not only good communication within the legal and professional stakeholder groups, but also to the wider stakeholder groups with a special interest in the project and the public in general. It is recommended that the project has one person who handles the communication to the public and media. If others, for example specialists, are approached, they should refer to the person in charge of communication or make it perfectly clear that that they cannot speak on behalf of the project, but only as themselves. This is especially important in the design and development phase.

A project of this type facilitates opportunities for research relating to technical and cultural aspects of *Mazarrón 2*, which may be used in outreach/education programmes. But it also provides the unique possibility to share and give the public in general as well as local stakeholders an insight into, perhaps even participate in, the processes that are required for a waterlogged wooden wreck to become stable and transformed into a state where it can be exhibited in a museum. To underpin this, and give the public an even deeper insight into preservation of archaeological organic underwater shipwrecks, the thought behind the decisions leading to the choice of the processes can also be presented in for instance educational programmes, workshops, etc. Such activities would also be in accordance with paragraph 4 of the ICOM Code of Ethic for Museums «Museums have an important duty to develop their educational role and attract wider audiences from the community, locality or group they serve. Interaction with the constituent community and promotion of their heritage is an integral part of the educational role of museums» (ICOM, 2004).

Volunteers are involved with many different aspects of cultural heritage exploration and preservation. The *Mazarrón 2* project could potentially also be an opportunity for cooperation with volunteers. Volunteers are stakeholders, often members of a local community or a specialist group and thus a potential link to the public. Engaging with volunteers is a possibility for more formal

and often longer lasting relations and interactions between public heritage organizations such as museums and volunteers. It is therefore not surprising that volunteers are also mentioned in ICOM's Code of Ethics for Museums in principle 1.17 «Museum Personnel and Volunteers» and 1.18 «Volunteers and Ethics». Working with volunteers requires, according to this document, a written policy on volunteer work and that the volunteers are made fully conversant with ICOM Code of Ethics and other applicable codes and laws (ICOM, 2004). Furthermore, if volunteers are employed, the time required for communication with and instructing the volunteers must be allocated and prioritised. It can be advantageous to employ a team member of the appropriate specialist group as volunteer guide/coordinator.

Discussion

Decision-making and project design

The decision to extract, conserve and exhibit *Mazarrón 2* has been made by the relevant authority. Therefore, a project round *Mazarrón 2* and its interventions are being developed. A programme of undertaking the works has been launched by the Spanish Government and regional Government of Murcia, the latter being the competent authority according to the law. Prior to this decision, the wreck had previously been partly excavated, and monitored in situ. Campaigns in 2019 and 2020 were undertaken to assess the condition of the wreck by consultant archaeologists employed by the Region of Murcia's General Directorate of Cultural Heritage, (CARM) and staff from ARQVA (Buendía, Pérez and Castillo, 2021, p. 4) as well as a very recent assessment undertaken in June 2023. (Pinedo, 2023). An in-depth report titled «*Proposal for an alternative project for the extraction and conservation of the Mazarrón 2 Phoenician wreck*» (Buendía Pérez and Castillo, 2021) was made by staff of ARQVA in 2021 requested by the Ministry of Culture and Sports. The design of the project should incorporate and follow the guidelines´ rules of the Annex to the Convention of Underwater Cultural Heritage as the convention is legally binding in Spain. Rule no. 10 states that a project design should be developed which should include assessment of previous studies, methodology for extraction, conservation, place for deposition of archive, a programme for publication as well as establishing the required qualification of the participants (Marleveld, Guérin and Egger, 2013, p. 64).

In relation to the project design, Per Hoffman, (2013), one of the prominent researchers and conservators of waterlogged ship, states

> To know where the ship or boat is going to end up - in an existing museum, in a new museum, yet to be built specifically for this purpose or just in storage - will influence many sorts of decisions right from the planning of the project and each step along the way of its implementation. (p.7).

As it is planned to recover the wreck and conserve it, conservation facilities, and long-term storage for the excavated object must be in place prior to extraction in accordance with rule 17-19, rule 24 and rule 32-34 (Maarleveld et al. 2013). Furthermore, «the competent authority, (in this case CARM), has a role in ensuring that planning for the conservation process begins well in advance before any artefact is recovered … Moreover, archaeologists should work closely with conservators in planning the process and developing the conservation programme» rule 24 (Marleveld, Guérin and Egger, 2013, p. 69-70). This concept is echoed in the Parvia document (Guichen, 1998) «Considering that the conservator-restorer must be part of the decision-making process from the outset of a conservation-restoration project and he/she must assume, in collaboration with the other partners involved, the responsibilities which relate to his/her competence (in particular diagnosis, prescription, implementation and documentation of treatment)» (p.55).

Instead of treating the extraction, conservation and exhibition as separate actions with no interdependence, they should be considered as one process which is designed and planned in collaboration with all the specialist/professional groups required in the process. Therefore, it is

important that all the specialist/professional groups are involved from the beginning of the project, and it would be beneficial to it, if all people involved approach their «project colleagues» according to the wording of Article 20 in E.C.C.O Code of Ethics ;« The conservator-restorer must maintain a spirit of integrity and dignity of colleagues, the conservator-restorer profession, and related professions and professionals» (E.C.C.O, 2003).

Conservation

It has been decided that the conservation of the wreck will be carried out at ARQVAtec, the conservation laboratory of the Spanish National Museum of Underwater Cultural Heritage (ARQVA), located at Cartagena (MCD y CARM, 2022). ARQVA has thus been given the responsibility of conserving the wreck and it has an obligation to consider legislation relating to cultural heritage, but also ICOM's Code of Ethics for Museums in which this sentiment is also expressed in principle 7 «Museums must conform fully to international regional or local legislation and treaty obligations. In addition, the governing body should comply with any legally binding trust or conditions relating to any aspect of the museum», (ICOM, 2004).

Funding

All project costs should according to rule 17-19, in the Annex to the Unesco Convention 2001 (Marleveld, Guérin and Egger, 2013, pp.66-67), be considered before any site work begins. That includes conservation, site stabilisation and long-term storage of retrieved objects. Consequently, to be able to account for the cost of conservation treatment, the method, materials, equipment and manpower has to be known/decided upon before the on-site work begins. Furthermore, a contingency plan should be made. Funding is also mentioned in the ICOM Code of Ethics for Museums in principle 1.9. The governing body should ensure that there are sufficient funds to carry and develop the activity of the museum. (ICOM, 2004). The *Mazarrón 2* project will both be lengthy and requires substantial funding. Therefore, a financial plan, (with contingencies) including funding bodies must be made for the full project.

Testing materials and methods

In the report: *Proposal for an alternative project for the extraction and conservation of the Mazarrón 2 Phoenician wreck* (Buendía, Pérez and Castillo, 2021) the need for conservation impregnation and drying trials are mentioned (p.27). In relation to the Conservation Code of Ethics (E.C.C.O, 2003) and current practice within preservation of wet archaeological wood, testing materials under consideration for use is appropriate and considered good practice. Using samples of the wood from the actual wreck is preferable as «no object is ever exposed to the same conditions, and thus each one has a different evolution» (Viñas, 2011, p.125). As Per Hoffman (2013) states «There are no general recipes on how to conserve a ship» (p.5). Therefore, testing different impregnation materials and drying methods on wood samples from *Mazarrón 2* is potentially as close as one can get to replicating the object material interaction. The information gained from these tests can be employed to aid the design of the conservation method and process.

Minimal Intervention

The *Proposal for an alternative project for the extraction and conservation of the Mazarrón 2 Phoenician wreck* (Buendía, Pérez and Castillo, 2021, p. 7 and p. 25) with reference to rule 3,4 and 16 in the Annex to the Unesco Convention of 2001 recommended the extraction of *Mazarrón 2* with the most minimal intervention in blocks, or in the least possible segments, as opposed to full dismantling. This approach of minimal intervention is also echoed in the E.C.C.O Code of Ethics (2003) article 8.

Local community at Mazarrón

The local authority at the town of Mazarron has made it known that they would very much like to see *Mazarrón 2* exhibited in the town (Murcia Today, 2022). On the other hand, ARQVA as the National Museum for Underwater Archaeology sees the wreck as an object that fits perfectly into its strategic mission and should therefore be exhibited in the museum in Cartagena. According to principle 6 of the ICOM Code of Ethics «Museums work in close collaboration with the communities from which their collection originates as well as those they serve.» The people of Mazarrón could maintain that, from an ethical point of view, they are «the community» and therefore the wreck should be exhibited there. Many museums have satellite exhibitions in other towns or regions, for instance Guggenheim Museum in Bilbao, Spain or the Tate Gallery in St. Ives, Cornwall, England. A similar option could perhaps be considered in this case. The wreck would legally be part of the museum's collection and thus be available for study, research and exhibition in accordance with ICOM Code of Ethic; principle 3 «Museums have particular responsibilities to all for the care, accessibility and interpretation of primary evidence collected and held in their collections» (ICOM, 2004). The staff of the museum would still study, disseminate knowledge about the wreck as well as care for and maintain the exhibit, in accordance with the legislation and with the other principles of ICOMs Code of Ethics for Museums, and the town of Mazarrón would have the benefit of having «their ship» in the community. (There are several other issues associated with this model, such as financing a new building and the running cost of such etc.).

Conclusion

By hosting a meeting of experts, the authorities responsible for *Mazarrón 2* (the autonomous Region of Murcia and the Spanish Ministry of Culture and Sport) are addressing and considering not only principle 8.11 in ICOM Code of Ethics for Museum relating to professional consultation, but also directly and indirectly several of the other principles.

The details and discussions in this paper have shown that the project relating to excavating, conserving and exhibiting the Phoenician wreck *Mazarrón 2* is embedded in national and regional law, the Unesco Convention of 2001 on Underwater Cultural Heritage as well as ethical codes relating to museum practice and of professions involved in the project. Not only extraction (documentation and research), but also preservation and conservation are prerequisites for being able to fulfill the project of bringing the wreck to a stable dry state, so it can be studied in years to come and exhibited. The rules of the Annex to the Unesco Convention require that a project design is made containing not only extraction plans, but also conservation and archive deposition plans, i.e. how and where is the conservation going to be performed and where is the archive going to be deposited. In relation to deciding on a conservation process, it is suggested that different consolidants and treatment methods are tested on wood samples from *Mazarrón 2*, before the actual conservation of the whole wreck commences.

Ethics relate not only to how *Mazarrón 2* is treated (extracted, conserved and exhibited) but also to how the various stakeholders interact and are engaged in the project. «Ethics defines the relationship of the museum with people, not with things» (Besterman, 2011).

The future of the *Mazarrón 2* in relation to the forthcoming work and the many complex considerations and decisions which must be made rely on interdisciplinary collaboration, planning and the structure created around the project, but also on the premise that everyone engaged in the project never loses sight of why and for whom this is done. ICOM's museum definition along with the Codes of Ethics for Museums can and should be used to guide and inspire this work.

Bibliography

Almevik, G., Hannes, A., Golfomisou, S., Karatas, K., Lindbald, L., Martignoni, S., Mignosa, A. and Vio, T. (2022). *Report: Who is not a stakeholder in cultural heritage?* CHARTER Consortium. https://

charter-alliance.eu/wp-content/uploads/2022/10/D4.1-Report-Who-is-not-a-stakeholder-in-cultural-heritage-_V2.pdf

Besterman, T. (2011). *Museum Ethics*. In S. Macdonald (Ed.), *A Companion to Museum Studies* (pp. 431-441). Blackwell Publishing.

Buendía, M., Pérez, S.and Castillo, R. (2021). *Proposal for an alternative project for the extraction and conservation of the Mazarrón 2 Phoenician wreck.* [Unpublished Report] requested by the Spanish Ministry of Culture and Sport. ARQVA National Museum of Underwater Archaeology. Dated March, 5. Translated from Spanish to English using Google Translate.

Caple, C. (2000). *Conservation Skills, Judgement, Method and Decision Making*. Routledge.

de Roemer, S. (2016). Conservation: How ethics work in practice. In B. L. Murphy (Ed.), *Museums, Ethics and Heritage* (pp. 251-263). Routledge.

Edson, G. (1997). *Museum Ethics*. Routledge.

Edson, G. (2017). *Museum Ethics in Practice.* Routledge.

European Association of Archaeologists (2009). *EAA Code of Practice*. https://www.e-a-a.org/EAA/About/EAA_Codes/EAA/Navigation_About/EAA_Codes.aspx?hkey=714e8747-495c-4298-ad5d-4c60c2bcbda9

European Confederation of Conservator-Restorers' Organisations (2003).

E.C.C.O. Professional Code Guidelines (ll) Code of Ethics.

E.C.C.O. Library – E.C.C.O. (ecco-eu.org)

Gardner, J. (2011). Ethical, entrepreneurial or inappropriate? Business practices in museums. In J. Marstine (Ed.), *The Routledge Companion to Museum Ethics* (pp. 285-297). Routledge.

Guichen de, G. (1998). The Parvia Document: towards a European profile of the conservator-restorer. *Museum International* (UNESCO, Paris), 199, 50, 3, 55-56.

Henderson, J.and Nakamoto, T. (2016). Dialogue in conservation decision making. *Studies in Conservation,* 61, S2.67-S2.78. https://doi.org/10.1080/00393630.2016.1183106

Hoffmann, Per (2013). *Conservation of Archaeological Ships and Boats -personal experience.* Archetype Publication.

Hooker, J. N. (1996). *Three Kinds of Ethics*. https://www.academia.edu/54316183/Three_Kinds_of_Ethics

Horie, V. (2010). *Materials for Conservation. Organic Consolidants, Adhesives and Coatings.* Routledge.

Horner, J. (2003). Morality, Ethics, and the Law: Introductory Concepts. In N. Helm-Estabrooks (Ed.), *Seminars in Speech and Language* (vol. 24, 4, pp. 263-274). Thieme Medical Publishers.

International Council of Museums (2004). *ICOM Code of Ethics for Museums*. https://icom.museum/wp-content/uploads/2018/07/ICOM-code-En-web.pdf

International Council of Museums (2004). *ICOM Código de Deontología*. https://icom.museum/wp-content/uploads/2018/07/ICOM-codigo-Es-web-1.pdf

International Council of Museums (2006). *ICOM's etiske regler*. ICOM Danmark.

International Council of Museums (2022). *Museum Definition*. (https://icom.museum/en/resources/standards-guidelines/museum-definition/).

International Council of Museums-Conservation Committee (1984). *Definition of the profession (1984) The Conservator_restorer: a Definition of the Profession.* https://www.icom-cc.org/en/definition-of-the-profession-1984

International Council of Museums-Conservation Committee (n.d.). Wet Organic Archaeological Materials Working Group Triennial Programme 2020-2023. [PDF file]. https://www.icom-cc.org/en/working-groups/wet-organic-archaeological-materials/wet-organic-archaeological-materials-working-group-triennial-programme-2020-2023

Ito, K., Yasuki, Y., Matsui, T., Miake, A., Imatsu, S. and Ikeda, Y. (2023). Conservation treatment of Mongolian Ships using the Trehalose Method. *Proceedings of the 15th ICOM-CC Group on Wet Organic Materials Conference, Mainz 2023* (pp. 303-309). ICOM-CC.

Ley 16/1985, de 25 de junio, de Patrimonio Histórico Español. *Boletín Oficial del Estado*, 155, de 29 de junio de 1985. Translated available in UNESCO Cultural Heritage Laws Database. https://www.eui.eu/Projects/InternationalArtHeritageLaw/Documents/NationalLegislation/Spain/law16of1985.pdf

Ley 5/1996, de 30 de julio, de Museos de la Región de Murcia. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. *Boletín Oficial del Estado,* 279, de 19 de noviembre de 1996.

Ley 5/1996, de 30 de julio, de Museos de la Región de Murcia. (boe.es)

Law 5/1996 July 30. Museum Law of the Autonomous Community of the Region of Murcia [Translated into English using Google Translate].

Ley 4/2007, de 16 de marzo, de Patrimonio Cultural de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. *Boletín Oficial del Estado,* 176, de 22 de julio de 2008. Referencia: BOE-A-2008-12526.

Ley 4/2007, de 16 de marzo, de Patrimonio Cultural de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. (boe.es)

Law 4/2007, March 16, on Cultural Heritage of the autonomous Community of the Region of Murcia [Translated into English using Google Translate].

Law, S. (2007). *Philosophy.* Dorling Kindersley (DK).

Marleveld, T. J., Guérin, U.and Egger, B. (2013). Manual for Activities directed at Underwater Cultural Heritage. *Guidelines to the Annex of the UNESCO 2001 Convention*. UNESCO.

Mikkelsen L. N.; Frydendahl, J., Jensen J. B. and Pedersen, N. B. (2023). Recycling PEG solution by vacuum drying. *Proceedings of the 15th ICOM-CC Group on Wet Organic Materials Conference, Mainz 2023* (pp. 310-318). ICOM-CC.

Ministerio de Cultura y Deporte y Comunidad Autónoma de la Región de Murcia [MCD y CARM] (2022). *International Experts' Meeting on the Extraction and Conservation of the Phoenitian Wreck Mazarrón 2. Mazarrón 2. Undertanding the current situation*. [Unpublished document sent to participants of the Expert' Meeting held 5-7 May at ARQVA, National Museum of Underwater Archaeology in Spain]. Received April 4, 2022 as attachment to an email.

Ministerio de Cultura (2010). *Green Paper. National Plan for the Plan for the Protection of Underwater Cultural Heritage.*

Working Group of the Technical Coordination Committee of the Historical Heritage Council Cartagena (2009). Ministry of Culture (English version).

Muñoz Viñas, S. (2011). *Contemporary Theory of Conservation*. Routledge.

Muñoz Viñas, S. (2020). *On the Ethics of Cultural heritage Conservation*. Archetype Publications.

Murcia Today (2021, March, 12). *2700-year-old shipwreck to be removed from the seabed in Puerto de Mazarrón*. https://murciatoday.com/2700_year_old_phoenician_shipwreck_to_be_removed_from_the_seabed_in_puerto_de_mazarra_n_1569017-a.html

Murcia Today (2022, May, 12). *They Are Ours: Mazarrón fights to keep Phoenician ships in the Murcia costal town*. https://murciatoday.com/they_are_ours_mazarron_fights_to_keep_phoenician_ships_in_the_murcia_town_1774488-a.html

Murphy, B. L. (2016). Charting the ethics landscape for museums in a changing world. In B. L. Murphy (Ed.), *Museums, Ethics and Heritage* (pp.19-42). Routledge.

O´Grady, C. (2021). Interventions: Contesting time, expertise and perspective in conservation decision-making. *ICOM-CC 19th Triennial Conference 2021 Beijing*. https://www.icom-cc-publications-online.org/4391/Interventions--Contesting-time-expertise-and-perspective-in-conservation-decision-making

ICOM-CC_2021_Beijing_153%20(2).pdf

Pinedo, E. (2023, June, 30). *Spanish Archaeologists plan rescue of 2,500-year-old Phoenician ship*. Inti Landauro and Philippa Fletcher (Eds.), Reuters. https://www.reuters.com/lifestyle/spanish-archaeologists-plan-rescue-2500-year-old-phoenician-shipwreck-2023-06-30/

Real Decreto 1508/2008, de 12 de septiembre, por el que se regula el Museo Nacional de Arqueología Subacuática. *Boletín Oficial del Estado,* 248, de 14 de octubre de 2008, 41176-41178. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2008-16489

Royal Decree 1508/2008 of September 12, Regulation of the National Museum of Underwater Archaeology [Translated into English using Google Translate].

Rössler, M. and Hayashi, N. (2016). UNESCO's actions and international standards concerning museums. In B. L. Murphy (Ed.*), Museums, Ethics and Heritage* (pp. 81-94). Routledge.

Shärer, M. (2016). The work of the ICOM Ethics Committee. In B. L. Murphy (Ed.), *Museums, Ethics and Heritage* (pp.14-18). Routledge.

Standford Enclypedia of Philosophy (2022, July, 2). *Aristotle's Ethics*. https://plato.stanford.edu/entries/aristotle-ethics/ [Retrieved 15/7-2023].

Standford Enclypedia of Philosophy (2020, October, 30). *Deontological Ethics*. https://plato.stanford.edu/entries/ethics-deontological/ [Retrieved 15/7-2023].

Stelzner, I. (2021, February, 22). International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works (IIC). https://www.iiconservation.org/content/cutaway-project-conservation-and-wood-analysis [Retrived 10/7-2023].

Stelzner, I., Stelzner, J., Martinez-Garcia, J., Gwerder, D., Wittköpper, M., Muskalla, W., Cramer, A., Heinz, G., Egg, M. and Schuetz, P. (2023). Evaluation of conservation methods for archaeological wet wood with structured light 3D scanning and µ-CT. *Proceedings of the 15th ICOM-CC Group on Wet Organic Materials Conference, Mainz 2023* (pp. 96-105). ICOM-CC.

Stelzner, I., Stelzner, J., Martinez-Garcia, J., Gwerder, D., Wittköpper, M., Muskalla, W., Cramer, A., Heinz, G., Haman, E., Zuber, M., Egg, M. and Schuetz, P. (2023). A Comparative study of conservations methods for waterlogged wood – a review of the 'Cutaway'-project. This volume.

Surbhi, S. (2018, August, 13). Differences between law and ethics. Key differences. https://keydifferences.com/difference-between-law-and-ethics.html [Retrieved 9/7-2023].

United Nations (UN) https://sdgs.un.org/goals [Retrieved 13/7-2023].

United Nations Educational, Scientificand Cultural Organisation (UNESCO). (2001). Convention of the Protection of Underwater Cultural heritage. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000126065 [Retrieved 10/7-2023].

Walsh-Korb, Z. (2023). Designing suitable consolidants: An evaluation of two bio-based consolidants. *Proceedings of the 15th ICOM-CC Group on Wet Organic Materials Conference, Mainz 2023* (pp. 319-326). ICOM-CC.

Wet Organic Archaeological Materials Working Group Triennial Programme 2020-2023 (2020). https://www.icom-cc.org/en/working-groups/wet-organic-archaeological-materials/wet-organic-archaeological-materials-working-group-triennial-programme-2020-2023

Best-practise conservation – planning of the conservation process before raising of a waterlogged wooden wreck

Nanna Bjerregaard Pedersen
Royal Danish Academy
Institute for Conservation, Copenhagen, Denmark
nbje@kglakademi.dk

Abstract: Best-practise conservation of a waterlogged wooden wreck is from the conservator's point of view related to the long-term preservation of the wood remains and preservation of the wealth of information the timbers and the construction contain. The wood must be transformed from a wet unstable state to a dry and stable state. The type, degree and gradient of decay determine if the wood will collapse, shrink or both upon drying. Conservation of waterlogged wood is thus about avoiding collapse in heavily decayed wood and shrinkage in well preserved areas of the xylem. However, the overall goal for the raising and the preservation of the wreck must be identified as this will lead to important decision-making regarding demands for display and/or storage facilities and the physical appearance of timbers after conservation. From this point the conservation treatment, and the raising of the wreck can be planned in detail.

Keywords: Best-practise conservation, wood decay characterisation, collapse, shrinkage, waterlogged wood conservation.

Resumen: Desde el punto de vista del conservador, las mejores prácticas de conservación de madera anegada procedente de un pecio están relacionadas con la conservación a largo plazo de estos restos y la preservación de la interesante información que contiene. La madera debe pasar de un estado húmedo inestable a un estado seco y estable. El tipo, el grado y el gradiente de la descomposición determinan si la madera, una vez seca, se descompondrá, se encogerá o se producirán ambas cosas. Así pues, la conservación de la madera anegada pretende evitar tanto el colapso de la madera muy descompuesta, como la contracción de las zonas bien conservadas del xilema. Sin embargo, es importante tener claro de antemano el objetivo de la extracción y conservación del pecio, ya que ello conducirá a la toma de decisiones importantes en relación con el tipo de instalaciones necesarias para la exposición o almacenamiento del pecio, así como la apariencia física que las maderas tendrán una vez efectuado el tratamiento de conservación. A partir de ahí, se puede planificar detalladamente el tratamiento de conservación y el izado del pecio.

Palabras clave: Buenas prácticas de conservación, caracterización del deterioro de la madera, colapso, contracción, conservación de madera anegada.

Introduction

Raising the *Mazarrón 2* shipwreck from Playa de la Isla is a huge and challenging project but is now, almost 30 years after its discovery, necessary due to the threats from the submerging

environment of the wreck. The raising of a wreck from the seabed is not daily routine work for any conservator. Each case consists of a unique set of technical challenges that needs to be addressed to succeed not only in raising the wreck but to ensure the best possible long-term preservation of the wreck. The transition from a wood material in waterlogged state to a dry and stable wreck at display in the museum is complex. In addition to the wealth of technical issues of a project of this size, involvement from a multitude of stakeholders with different professional standards and expectations, as well as the financial circumstances of the project must be addressed. Balancing expectations before and during the project, is a key parameter to obtain success.

This contribution is from the conservator's point of view. Conservators care for the tangible heritage – the physical materials and the inherent cultural heritage information that can be extracted from the materials. We see the raising of a wooden wreck from the perspective of the wooden material, and we act as ambassadors for the waterlogged wood material itself. Not only all the way from the raising to display but also in relation to preservation of the timbers for future generations. With this perspective in mind – the main question is: How do we plan and perform the best possible conservation treatment for a waterlogged wreck to be raised?

Best-practise Conservation

Waterlogged wood conservation is not a simple task, and professional and experienced conservation staff is absolutely necessary. However, the overall principle is simple. Conservation of waterlogged wood is transforming the wood from a wet unstable state to a dry stable state. In this transformation best-practise conservation stipulate that this must be done:

- Without losing any preserved original materials,
- without losing any preserved technological information,
- by securing the original materials for future generations,
- and as close to the natural appearance of the original materials as possible.

These ambitious goals must be meet by careful documentation, raising, and conservation – together with careful planning of the whole process before the practical work is initiated.

Why do waterlogged wood need conservation?

Wood is often, when found in waterlogged submerging environments, in an excellent state of preservation. The three-dimensional appearance and surface details are perfectly readable thereby holding a wealth of cultural heritage information. However, even without visual signs of decay the well-preserved appearance can cover up a heavily decayed wood structure (Fioravanti, Spriggs, Björdal *et al.*, 2020).

In the marine environment various destructive wood degrading organisms such as shipworm, gribble and fungi have a potential to distort the wood xylem and the surface to a degree that lower the heritage value of the wood (Gregory and Matthiesen, 2018). In addition, mechanical wear from currents and sediment movements can be very destructive if the wood is exposed (Gregory, Jensen, Strætkvern, 2012). As soon as the wood is buried in the sediment it is protected – and the deeper the wood is embedded in the sediment the better protected it is (Gregory, 2020; Gregory and Matthiesen, 2018). Oxygen containing sediment host soft rot fungi and bacteria that are able to decay the wooden cell wall, whereas oxygen free sediment only host erosion bacteria (Björdal, 2012; Björdal and Nilsson, 2008; Gregory and Matthiesen, 2018) (Figure 1).

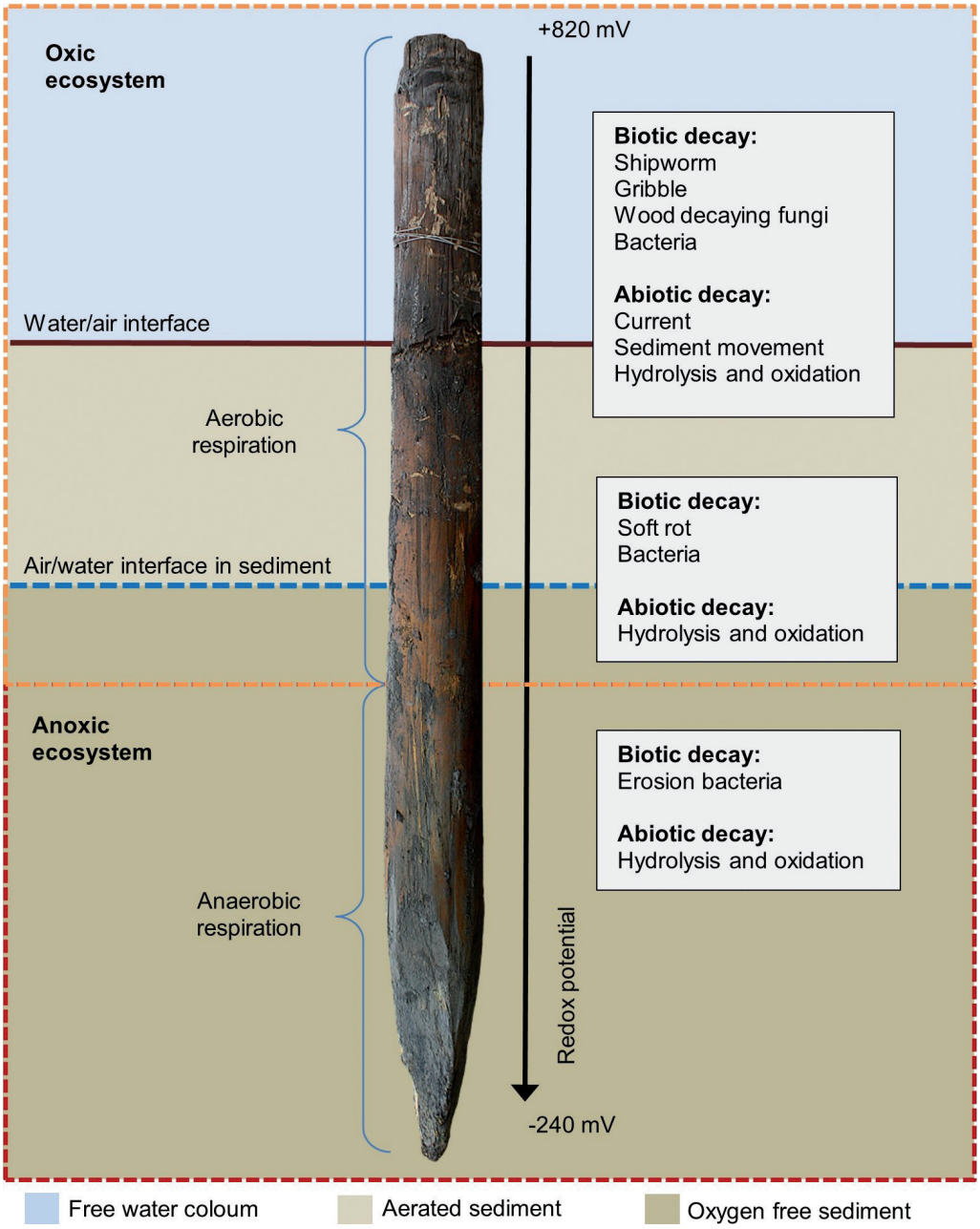


Figure 1. Schematic representation of possible wood decay acting in a wooden pole exposed vertically in a marine environment depend on the amount of available oxygen in the submerging environment.

Both soft rot and erosion bacteria degrade the secondary cell wall of the wood cells – but leaves a skeleton of each and every wood cell together with the middle lamella that glues the wood cells together (Pournou, 2020) (Figure 2). The complete preservation of a wood xylem skeleton is – together with the waterlogged state - the reason for the well-preserved structure and surface details.

The secondary cell wall is by far the thickest wall in the wood cell (Donaldson, 2019; Salmén and Burgert, 2009). Loss of the structural integrity of the wood polymer matrix in the cell wall and utilisation of cellulose and hemicellulose by the wood degrading microorganisms means that all mechanical strength of cell walls is lost. In waterlogged wood the cell wall is replaced by water and an unstructured residual material mostly containing lignin that the microorganisms leave behind (Pedersen, Gierlinger and Thygesen, 2015; Pournou, 2020). This turns the wood xylem into a network of fragile cells kept in shape by water.

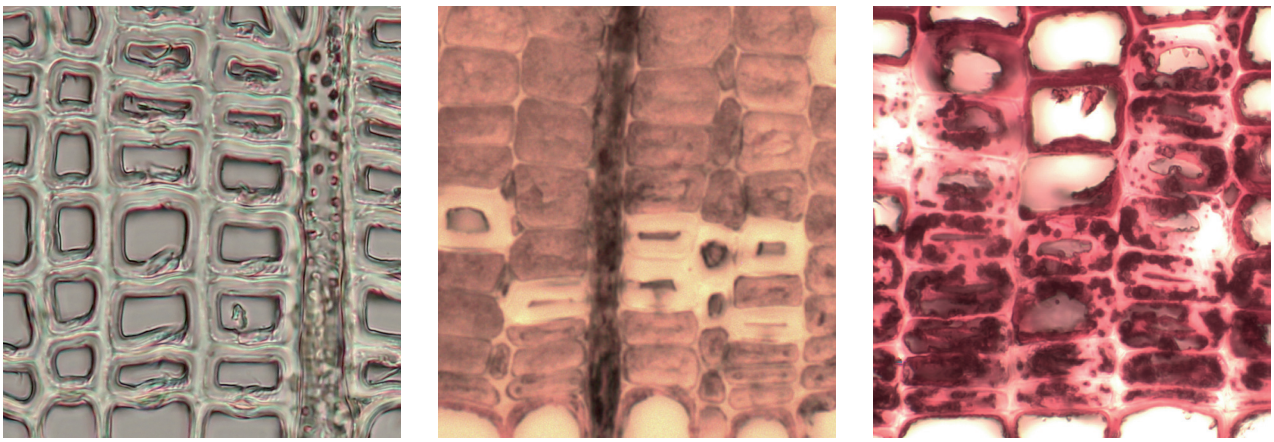


Figure 2. Left: Cross section of sound softwood seen in light microscope; Middle: Cross section of waterlogged softwood decayed by erosion bacteria stained with safranine. Sound wood cells with preserved cell wall are light in colour while decayed eroded cells hold a darker residual material but with an intact cell network; Right: Cross section of waterlogged softwood decayed by soft rot fungi stained with safranine. Fungal hyphae grow within the cell wall resulting in partial erosion of the cell wall and development of a residual material, but with an intact cell network.

The degradation starts from the surface of the timbers and proceeds towards the interior. The decay immediately affects the structural properties of the material. The higher the degree of degradation the lower the strength, the hardness, and the density, whereas the porosity of the wood increases (Fioravanti, Spriggs, Björdal *et al.*, 2020). The decay is slow, and it is not unusual to see a sound inner core and a heavily decayed outer surface layer (Björdal, Daniel and Nilsson., 2000; Florian, 1981).

Conservators working with waterlogged wood conservation have in generations experienced that decayed wood xylem will collapse if air dried (Fioravanti, Spriggs, Björdal *et al.*, 2020; Florian Mary-Lou, 1990). This happens if the secondary cell walls are decayed and don't have the strength to withstand the negative pressure from the evaporating water building up in the long and slender wood cells (Gregory, Jensen and Strætkvern, 2012). The consequence of collapse is a completely flatting of the cells in radial direction and a wood structure with massive volumetric reduction and high density (Lauridsen, Matthiessen, Gregory *et al.*, 2023). This obscures the anatomical features, changes the original dimensions and limits, together with possible warping and splitting, the possibility to read surface details. This physical phenomenon of collapse is related to the degree of degradation of the cell wall of each individual cell – but also to the proportion of decayed and undecayed cells in the xylem. Collapse is irreversible – meaning that it is not possible to perform a reverse treatment to go back to a waterlogged and swollen wood material.

Waterlogged archaeological wood with un-decayed cell walls will not collapse. These wood cells are strong and can withstand the negative pressure from the water evaporating from the porous wood structure. However, the wood cells are completely water filled and the wood material is in its maximum swollen state. In this state waterlogged archaeological wood is comparable to freshly cut wood in green state. Freshly cut wood can have more than 200 % in moisture content but will over time obtain equilibrium with the given humidity in the surrounding air (Glass and Zelinka, 2021). Water trapped in cell wall lumina and voids will not change the wood structure upon drying but below a moisture content of about 30 % water trapped in the cell wall matrix will evaporate. This will reduce the distance between the wood polymers in the cell wall and lead to shrinkage of the wood (Arzola-Villegas, Lakes, Plaza *et al.*, 2019; Glass and Zelinka, 2021). Due to the anisotropic nature of wood, shrinkage will be greatest in the direction of the annual growth rings (tangential direction), about half as much across the rings (radial direction), and only slightly along the grain (longitudinal direction). The uneven shrinkage behaviour in radial and tangential direction distorts the shape of a wood piece and might lead to warping and splitting depending on

the curvature of the annual rings in the given piece of wood (Glass and Zelinka, 2021). The shrinkage is reversible meaning that if the moisture content in the air is raised the wood cell walls will sorb water and swell.

Drying of waterlogged wood is thus both about avoiding collapse in heavily decayed wood and shrinkage in well preserved areas of the xylem. Waterlogged archaeological wood with a long submerging history will, as a minimum, have a thin surface layer of heavily decayed wood cells. Collapse of this surface layer must always be prevented with an appropriate conservation treatment if surface details such as tool marks are to be preserved. Waterlogged wood will only have a homogeneous gradient of decay from surface to core if the xylem is heavily decayed all the way through. In this case collapse is the only concern for the conservators.

Documentation and characterisation before raising the wreck

Documentation at the seabed before raising should include all types of materials related to the find. Wood being the most important construction material, but other materials present such as metal fittings, rope, caulking, tar or even traces of materials add important technological knowledge to the find. The in-situ documentation should also include the relative position of each piece of timber preferentially with three-dimensional documentation tools (Kocabaş, 2015). The level of documentation before and after the raising must be planned in accordance with the ambitions for reconstruction and future research potential but also the economic frame of the project.

The characterisation of the state of preservation of the wood is of utmost importance both before the raising and before the conservation treatment is planned to be aware of the material demands for the extraction process and the conservation – and the need for mechanical support from extraction to display. The state of preservation is from the conservator's point of view not only a question of how many timbers of the overall ship construction that are left, but a question of the state of preservation of the wood material itself. Characterisation of the wood decay must include:

- Type of wood decay,
- degree of degradation,
- and gradient of decay from surface toward core of the timbers.

The main type/types of decay must be determined. The physical and chemical properties of the waterlogged wood material will depend on the type/types of decay present in the wood. Does the wood hold the common decay types of erosion bacteria and soft rot, or does the wood contain lager areas with other decay types from pre-submerging conditions? Determination of decay types is most easily done by microscopic analysis (Anagnost, 1998; Klaassen, 2008). Another important characterisation of the waterlogged wood is the degree of degradation. This establishes the mechanical strength of the wood material and thereby if collapse or shrinkage is the main problem upon drying. Here it is of utmost importance to remember that waterlogged timbers often hold a gradient of decay from surface toward core, and an estimate of this gradient should be established as well. Degree of degradation and the decay gradient can be determined with microscopic analysis, several chemical and physical analysis either in situ or by retrieving small samples for analysis in the laboratory (High and Penkman, 2020; Jensen and Gregory, 2006). Density is a reliable measure of the degree of degradation and can be done quickly and with a high degree of accuracy by profiling (Jensen, Pedersen, Pedersen *et al.*, 2017). Both the type of decay and the degree and gradient of degradation are often variable in the timbers within the same find. To ensure the best possible estimate of the preservation state a sampling and analysis strategy for the given wreck is needed.

Decision making

Based on the documentation of the wreck at the site and the characterisation of the preservation state of the wood the overall goal for raising the wreck and the preservation of the wreck must be identified and important decisions must be made:

- Is the wreck to be preserved for public dissemination by display in a museum, for research purposes within naval heritage and technology history – or both?
- What are the demands for the readability of technological information and the final aesthetic appearance of the timbers?
- Is the wreck going on permanent display, in permanent storage – or will the wreck have to be moved between museums and/or storage facilities?

The answers to these questions have a great impact on how to plan the raising and the conservation process (Figure 3). The optimal proces is to identify and decide the overall goals for the preservation of the wreck after in situ documentation and characterisation of wood decay. Based on this, decisions for the final display and/or storage of the wreck must be made before planning of the conservation treatement. In addition, the decision of how to perform the practical extraction - timber by timber, in one piece or in a few units - is dependent on the goals for the final display or storage. This illustrates that the decisionmaking process is somewhat circular.

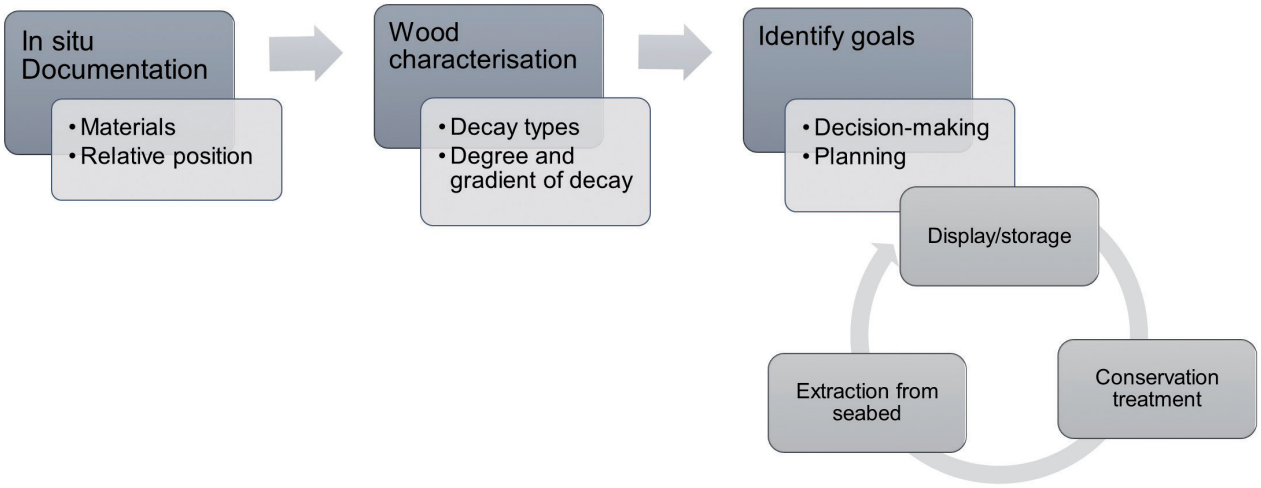


Figure 3. Skematical overview of the optimal planning proces for conservation of a wreck to be extracted from the seabed and until in display/storage after conservation.

Display and storage considerations

Based on the characterisation of the wood decay a suitable support for the timbers must be planned. The first priority is to prevent the wood from mechanical stress and vibrations. Second priority is to obtain the best possible visual access to the timbers and the construction details of the wreck. The exhibition room or storage facility must be carefully considered as well. Wood and possible also added conservation material are hygroscopic (Jensen, Helms and Christensen., 2013). An uncontrolled climate can have a great negative impact on the long-term conditions of the wood material. If the building planned to use for exhibition/storage cannot be climate controlled this has to be taken into consideration when planning the conservation treatment – especially concerning choice of conservation materials (Jensen, Helms and Christensen, 2013). In addition, practical issues concerning transportation from the conservation facilities to the final destination must be considered

with regard to mass and size of the full-sized wreck or the wreck-units to be transported together with the height, and area of the building as well as the size of doors to the facility.

Conservation considerations

In planning the conservation treatment several considerations are important to address. The characterisation of the wood decay determines if the aim of the conservation treatment is to avoid collapse or shrinkage, or if a combination of the two physical responses to drying are demanded. Often avoidance of both shrinkage and collapse are important to consider in planning of a conservation treatment due to a gradient of decay from surface to core in the waterlogged timbers. The greater and more abrupt the decay gradient is, the more difficult it is to find a suitable conservation treatment (Stelzner, Stelzner, Martínez-García *et al.*, 2022).

Our primary concern is to avoid collapse of heavily decayed wood cells in all steps of the process. The wood must be kept waterlogged at all times until safe drying can be enabled, as collapse has shown to occur at relative humidities at high as 99.95 % (Lauridsen, 2023). A suitable conservation treatment that hinders collapse during drying is needed (Broda and Hill, 2021). In addition, heavily decayed wood will always need underlying support during excavation and conservation, as the wood is soft and spongy with low mechanical strength. The soft and spongy wood material is also in great danger of mechanical damage during handling and surface protection can in some cases be considered.

If the wood xylem is mainly well-preserved, we can expect a shrinkage of about 3-6 % in the tangential direction if dried to an equilibrium relative humidity around 50 %; as this is what would be expected for un-decay water-saturated wood (Glass and Zelinka, 2021). This will induce risk of distorting the shape of the wooden pieces, warping, and splitting and can also lead to a down-sizing of the timbers; possible to an extent where distance between planks might appear. It is of utmost importance to address how much shrinkage can be allowed in the given case, but also how much shrinkage can be avoided with the available and recommended conservation treatments (Broda and Hill, 2021).

All conservation treatments have pros and cons (Stelzner, Stelzner, Martínez-García *et al.*, 2022). But without skilled and experienced professional conservators with knowledge of the chosen conservation treatment any given treatment is unlikely to succeed. Conservation treatments for waterlogged wood have evolved for more than a hundred years (Bojesen-Koefoed, 2013) and are still evolving, but can be divided into three main strategies:

1) The waterlogged wood is impregnated with a water-soluble impregnation agent followed by controlled air drying. If the wood is mainly well-preserved the impregnation agent must bulk the wood cell wall to hinder shrinkage. If the wood is heavily decayed the impregnation agent must act as a physical support in the degraded structure as the wood dries. Examples of impregnation agents used in combination with air drying is alum, sucrose, kauramin, trehalose, and polyethylene glycol PEG (Broda and Hill, 2021).

2) The water is replaced by a solvent with lower surface tension to reduce the negative pressure in the porous structure during evaporation. Air drying is followed by a wax treatment for stabilisation of the fragile wood structure. Examples are acetone-colofonium, alcohol-ether, and cellusolve treatments (Broda and Hill, 2021; Jensen, Bojesen-Koefoed, Meyer *et al.*, 1994).

3) The waterlogged wood is impregnated with a water-soluble impregnation agent followed by freeze drying. Sublimation of ice to water vapour circumvents the negative pressure from evaporation of liquid water. However, it is important to operate at a process temperature below the eutectic temperature of the water-impregnation agent mixture to ensure complete solidification and

avoid collapse in the structure. Polyethylene glycols are the most used impregnation agent in combination with freeze drying.

No matter the choice of conservation treatment it is important to consider the final shape of the timbers as drying makes the timbers less flexible compared to the waterlogged state. This may pose problems in the mounting of the wreck. Mechanical support during impregnation and drying into the right shape can be considered jointly (Strætkvern, Hjelm-Petersen, Sørensen *et al.*, 2013).

The wreck might contain other materials than the wood itself that have other conservation needs. Often it will be possible to separate the materials and treat them individually and join the materials again after conservation, but sometimes mutual treatment is needed. Treating waterlogged archaeological composite object is a recurring challenge for conservators.

The long-term stability of the treatment is of great concern as well. The wood material must be preserved for future generations as the wreck is irreplaceable cultural heritage. This dictates that added conservation materials such as an impregnation agent must be chemical stable not only in the exposed climate but also in interaction with the wood and possible other materials present in connection to the timbers. It should also be considered if the conserved wood is compatible with the planned and future storage/display climate. Looking in the history of waterlogged wood conservation four points are standing out as important when planning and choosing a conservation treatment:

1) Wood is hygroscopic and will sorb and desorb water from the surrounding air to obtain moisture equilibrium. Fluctuations in the relative humidity leads to mechanical stress in the wood material over time. Display and/or storage in a stable indoor climate will eliminate this problem.

2) Waterlogged wood contains an increased amount of inorganic compounds. The composition and concentration depends on the submerging environment. Especially elevated concentrations of sulphur from bacterial activity in the anoxic environment and iron species from corroding metal fittings have shown to pose post-conservation problems due to the formation of strong acids in the wood (Hocker, Almkvist and Sahlstedt, 2012; Mortensen, Chaumat, Gambineri *et al.*, 2019). The acid forming processes are induced by fluctuating and high levels of relative humidity. Display and/or storage in a stable indoor climate below 60 % RH will reduce this post-conservation problem tremendously.

3) Impregnation agents that are liquid at room temperature will stay liquid in the wood at all times. Liquids add no stability to the wood material, but they can potentially move around and migrate to the surface of the wood, and they often act as a lubricant between the wood polymers thereby increasing the tendency of creep (slow plastic flow) in the wood material.

4) Impregnation agents that are hygroscopic at low levels of relative humidity will, even in a controlled indoor climate, increase the moisture content of the wood material and add to problems related to all three points above.

Apart from preserving the material itself conservators are eager to conserve the inherent cultural heritage information that can be extracted from the materials both now and in the future. This will often lead to a paradox because a given conservation treatment will obscure the possibility for archeometric analysis, but without the conservation treatment the physical material will not be preserved. It is therefore important to be aware of if the planned conservation treatment will limit a given research potential.

Considerations in raising the wreck

Based on the in-situ documentation, the characterisation of the wood decay, and the decisions regarding storage and display a tailored plan for raising the wreck can be made. The extraction

must either be done timber by timber, in one piece or in sub-units. To maintain the inherent cultural heritage information careful extraction is needed. The wood must be kept waterlogged at all stages of the process to avoid uncontrolled collapse and shrinkage, also between the archaeological site and until safely placed in water tanks at the conservation facilities. The soft and spongy surface must be protected from mechanical damage, and dependent on the degree of degradation an underlying support might be needed to compensate for reduced mechanical strength. If conservation and exhibition/storage is carefully planned before raising the wreck it might be possible to re-use support-structures between extraction, impregnation, drying and maybe even in exhibition. This does not only save time and cost but will also bring down the number of times the material must be handled reducing the risk of mechanical damage.

Conclusion

From the conservator's point of view being the ambassador of the waterlogged archaeological wood material, it is of utmost importance to plan the conservation of the wreck not only based on the documentation of the wreck and the characterisation of the type, degree, and gradient of decay in the timbers but also based on the over-all goal of raising the wreck and the decisions of where to exhibit or store the wreck. Demands for the readability of cultural heritage information from the wood after conservation and choice of exhibition and/or storage solution dictate possible choices of conservation treatment in line with the material properties of the timbers. This implies that the overall goals for raising the wreck must be identified before the conservation treatment and the extraction of the wreck from the seabed is planned.

References

Anagnost, S. E. (1998). Light microscopic diagnosis of wood decay. *Iawa Journal*, *19*(2), 141-167. https://doi.org/10.1163/22941932-90001517

Arzola-Villegas, X., Lakes, R., Plaza, N. Z.and Jakes, J. E. (2019). Wood Moisture-Induced Swelling at the Cellular Scale-Ab Intra. *Forests*, 10. https://doi.org/10.3390/f10110996

Björdal, C. G. (2012). Evaluation of microbial degradation of shipwrecks in the Baltic Sea. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 70, 126-140. https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.01.012

Björdal, C. G., Daniel, G.and Nilsson, T. (2000). Depth of burial, an important factor in controlling bacterial decay of waterlogged archaeological poles. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 45(1-2), 15-26. https://doi.org/10.1016/S0964-8305(00)00035-4

Björdal, C. G.and Nilsson, T. (2008). Reburial of shipwrecks in marine sediments: A long-term study on wood degradation. *Journal of Archaeological Science*, 35(4), 862-872. https://doi.org/10.1016/j.jas.2007.06.005

Bojesen-Koefoed, I. (2013). Re-conservation of wood treated with alum in the 1920s—Challenges and strategies. In K. Strætkvern and E. Williams (Eds.), *Proceedings of the 11th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference. Greenville 2010* (pp. 497-502). The International Council of Museums.

Broda, M.and Hill, C. A. S. (2021). Conservation of Waterlogged Wood—Past, Present and Future Perspectives. *Forests*, 12(9). https://doi.org/10.3390/f12091193

Donaldson, L. A. (2019). Wood cell wall ultrastructure. The key to understanding wood properties and behaviour. *IAWA Journal*, 40(4), 645-672. https://doi.org/10.1163/22941932-40190258

Fioravanti, M., Spriggs, J., Björdal, C., Gregory, D., Pournou, A., Peacock, E. A., Straetkvern, K., Gelbrich, J.and Khoï Tran, Q. (2020). European Standards for Archaeological Wood-Theoretical background, purpose, and application. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 949(1), 012107. https://doi.org/10.1088/1757-899X/949/1/012107

Florian, M.-L. E. (1981). Analyses of different states of deterioration of terrestrial waterlogged wood. Conservation implication of the analyses. A review. *ICOM Committee for Conservation 6th Triennial Meeting*, 81/7/9.

Florian, M.-L. E. (1990). Scope and History of Archaeological Wood. In R. M. Rowell and R. J. Barbour (Eds.), *Archaeological Wood. Properties, Chemistry, and Preservation* (pp. 3-32). American Chemical Society. http://dx.doi.org/10.1021/ba-1990-0225.ch001

Glass, S.and Zelinka, S. (2021). Chapter 4: Moisture relations and physical properties of wood. In *Wood handbook wood as an engineering material* (p. 22). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.

Gregory, D. (2020). Characterizing the Preservation Potential of Buried Marine Archaeological Sites. *Heritage*, 3(3), 838-857. https://doi.org/10.3390/heritage3030046

Gregory, D.and Matthiesen, H. (2018). Deterioration and preservation of organic materials on the seabed. In *Oceans of Archaeology* (pp. 136-143). Jysk Arkæologisk Selskab.

Gregory, D., Jensen, P.and Strætkvern, K. (2012). Conservation and in situ preservation of wooden shipwrecks from marine environments. *Journal of Cultural Heritage*, 13 (3, Supplement), s 139-148. https://doi.org/10.1016/j.culher.2012.03.005

High, K. E.and Penkman, K. E. H. (2020). A review of analytical methods for assessing preservation in waterlogged archaeological wood and their application in practice. *Heritage Science*, 8(1), 83. https://doi.org/10.1186/s40494-020-00422-y

Hocker, E., Almkvist, G.and Sahlstedt, M. (2012). The Vasa experience with polyethylene glycol: A conservator's perspective. *Journal of Cultural Heritage*, 13(3, Supplement), S175-S182. https://doi.org/10.1016/j.culher.2012.01.017

Jensen, P.and Gregory, D. J. (2006). Selected physical parameters to characterize the state of preservation of waterlogged archaeological wood: A practical guide for their determination. *Journal of Archaeological Science*, 33(4), 551-559. https://doi.org/10.1016/j.jas.2005.09.007

Jensen, P., Bojesen-Koefoed, I., Meyer, I.and Strætkvern, K. (1994). The Cellosolve-Petroleum Method. In P. Hoffmann (Ed.), *Proceedings of the 5th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Portland/Maine 1993* (pp. 523-532). Bremerhaven.

Jensen, P., Helms, A. C.and Christensen, M. (2013). Evaluating Long-Term Stability of Waterlogged Archaeological Wooden Objects through Determination of Moisture Sorption Isotherms and Conductance in Conserved Objects and Impregnation Agents. In K. Strætkvern and E. Williams (Eds.), *Proceedings of the 11th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference. Greenville 2010* (pp. 83-108).

Jensen, P., Pedersen, R., Pedersen, K., Gregory, D., Eriksen, A. M.and Björdal, C. (2017). Development and use of a non-destructive diver-held underwater wood density profiler. In J. Bridgland (Ed.), *ICOM Committee for Conservation 18th Triennial Meeting Copenhagen Denmark 4-8 September 2017*. Pulido & Nunes; ICOM Committee for Conservation.

Klaassen, R. K. W. M. (2008). Bacterial decay in wooden foundation piles-Patterns and causes: A study of historical pile foundations in the Netherlands. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 61(1), 45-60. https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2007.07.006

Kocabaş, U. (2015). The Yenikapı Byzantine-Era Shipwrecks, Istanbul, Turkey: A preliminary report and inventory of the 27 wrecks studied by Istanbul University. *International Journal of Nautical Archaeology*, 44(1), 5-38. https://doi.org/10.1111/1095-9270.12084

Lauridsen, N. R., Matthiesen, H., Gregory, D. J.and Pedersen, N. B. (2023). Collapse – or not? Effects of drying on heavily decayed archaeological wood in soil. In I. Hovmand, M. Felter and I. Stelzner (Eds.), *Wet Organic Archaeological Materials 2023. Proceedings of the 15th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference* (pp. 59-66).

Mortensen, M. N., Chaumat, G., Gambineri, F., Kutzke, H., Łucejko, J. J., McQueen, C. M. A., Modugno, F., Tamburini, D.and Taube, M. (2019). Climatically Induced Degradation Processes in Conserved Archaeological Wood Studied by Time-lapse Photography. *Studies in Conservation*, 64(2), 115-123. https://doi.org/10.1080/00393630.2018.1490103

Pedersen, N. B., Gierlinger, N.and Thygesen, L. G. (2015). Bacterial and abiotic decay in waterlogged archaeological Picea abies (L.) Karst studied by confocal Raman imaging and ATR-FTIR spectroscopy. *Holzforschung*, 69(1), 103-112. https://doi.org/10.1515/hf-2014-0024

Pournou, A. (2020). *Biodeterioration of wooden cultural heritage. Organisms and Decay Mechanisms in Aquatic and Terrestrial Ecosystems*. Springer.

Salmén, L.and Burgert, I. (2009). Cell wall features with regard to mechanical performance. A review COST Action E35 2004-2008: Wood machining-Micromechanics and fracture. *Holzforschung*, 63(2), 121-129. https://doi.org/10.1515/hf.2009.011

Stelzner, J., Stelzner, I., Martinez-Garcia, J., Gwerder, D., Wittköpper, M., Muskalla, W., Cramer, A., Heinz, G., Egg, M.and Schuetz, P. (2022). Stabilisation of waterlogged archaeological wood: The application of structured-light 3D scanning and micro computed tomography for analysing dimensional changes. *Heritage Science*, 10(1), 60. https://doi.org/10.1186/s40494-022-00686-6

Strætkvern, K., Hjelm-Petersen, A., Sørensen, J. N.and Jørgensen, E. (2013). Successful shaping or destructive devices? Freeze-drying of ship timbers in moulds and frames. In K. Strætkvern and D. J. Huisman (Eds.), *Proceedings of the 10th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference. Amsterdam 2007* (pp. 439-454).

PROYECTOS INTERNACIONALES

INTERNATIONAL PROJECTS

Examples of extraction of ancient shipwrecks in France, Italy and Croatia

Giulia Boetto
CNRS, Aix Marseille University
Centre Camille Jullian, Aix-en-Provence, France

Abstract: The recovery of shipwrecks is an extraordinary opportunity to deepen our knowledge of ancient shipbuilding and the history of technology, and all the more so if the shipwreck is dismantled.

Recovery and consolidation through adapted conservation processes of wooden elements represent the beginning of a new life for the wreck, which becomes an exceptional artefact with its own requirements in order to be conserved and displayed in the best way. For all these reasons, a fruitful dialogue between archaeologists, restorers and museum curators is one of the secrets of success in such complex operations.

This article discusses this issue through examples of the extraction of ancient shipwrecks discovered in France (Marseille), Italy (Naples) and Croatia (Pula).

Keywords: Ancient shipbuilding, Mediterranean, shipwreck recovery, wood conservation

Resumen: La recuperación de pecios es una oportunidad extraordinaria para profundizar en el conocimiento sobre la construcción naval antigua y la historia de la tecnología, más aún si el pecio está desmantelado.

La recuperación y consolidación de elementos de madera mediante procesos de conservación adaptados representan el comienzo de una nueva vida para el pecio, que se convierte en un artefacto excepcional con sus propios requisitos para ser conservado y expuesto de la mejor manera posible. Por ello, contar con un diálogo fructífero entre arqueólogos, restauradores y conservadores de museos, no solo es indispensable, sino que constituye uno de los secretos del éxito en operaciones tan complejas.

Este artículo analiza esta cuestión a través de ejemplos de extracción de pecios antiguos descubiertos en Francia (Marsella), Italia (Nápoles) y Croacia (Pula).

Palabras clave: Construcción naval antigua, Mediterráneo, recuperación de pecios, conservación de madera

The recovery of an ancient shipwreck is a long process with far-reaching consequences. The decision to recover such an artefact is mainly linked to two interconnected factors: the historical, cultural and heritage importance of the wreck on the one hand, and the threats that could lead to its destruction on the other.

In the case of archaeological excavations prior to the construction of major urban infrastructures, as was the case in Marseille (France), Naples (Italy) and Pula (Croatia), the decision to

recover the remains of ancient ships was almost an obligation. The development project can rarely be modified and, in most cases, the works involve the destruction of archaeological remains.

There is also the case of a museum which, in order to enrich its collections with the remains of a ship that can illustrate the nautical aspects of an ancient society, decides to take all the steps leading to the recovery of a wreck, as was the case with the Zambratija wreck (Croatia) dated to the end of the Bronze Age. This includes not only the ability to raise the necessary funds for such an operation, but also to follow a process involving several important stages and different specialists.

It is also important to emphasise that the scientific study carried out by the nautical archaeologists will provide essential documentation and information about the vessel, which will serve as a basis for any future hypotheses about reconstructing the original shape, structure and technical system (propulsion and steering components).

The study is also a necessary guide for choosing the best recovery and conservation procedures. It will indicate the preserved dimensions of the vessel and its components (data needed to calculate the weight and volume of the waterlogged wood), the degree of deformation and damage, such as the presence of fractures in the structures. Finally, the study could reveal the presence of particular elements that might pose problems for long-term conservation in a museum, such as iron nails. Dialogue between archaeologists, conservators and curators is particularly important throughout the entire process, from recovery to display.

This article will attempt to illustrate these aspects through a few examples. The first is the recovery of the famous Archaic-era Greek shipwrecks found in Marseille's Place Jules-Verne, an operation led and followed step-by-step from excavation to exhibition by Patrice Pomey and his team from the Centre Camille Jullian. Other examples are drawn from the author's personal experience in Italy and Croatia.

Marseille

During the excavations at Place Jules-Verne in Marseille, carried out from August 1992 to October 1993 in the immediate vicinity of the *Vieux Port* prior to the construction of a carpark, the remains of seven Archaic Greek and Roman-era ships were discovered (Pomey, 1995). The two Archaic Greek wrecks, Jules-Verne 7 and 9, were the most important discoveries.

Abandoned near the shore towards the end of the 6th century BC, they are both ships built around the middle of that century by the second generation of Greek settlers from Phocaea, who founded *Massalia*-Marseille around 600 BC. These wrecks, therefore, bear witness to the Archaic Greek shipbuilding techniques used in Phocaea and the Aegean Sea that the Greek settlers brought with them to Marseilles (Pomey and Boetto, 2019, p. 25).

While lying in the same archaeological context, the remains correspond to two different boats. The smaller wreck, Jules-Verne 9, is a coaster of about 10 m in length, which served for light transport and fishing for coral (Pomey, 2000). It has the particularity of being fully assembled by stitching (Pomey and Boetto, 2019, p. 24-26). After the full digital reconstruction of the original boat, a sailing replica, *Gyptis*, was built (Pomey, 2014, 2017; Pomey and Poveda, 2017, 2018). The larger wreck, Jules-Verne 7, with a preserved length of 13 m, is that of a small sailing merchant vessel, originally about 15 m long (Pomey, 2003, p. 60-63; Poveda, 2012, p. 383-428). Its construction corresponds to the technical transition that marks the adoption of mortise-and-tenon fasteners in Greek shipbuilding, which had traditionally used ligatures as the assembly technique (Pomey, 1997, 2010; Pomey and Boetto, 2019, p. 28-30).



Figure 1. The shipwreck Jules-Verne 9 in the Marseille History Museum. Photo: T. Seguin.

Due to their exceptional interest, the two wrecks, Jules-Verne 7 and 9, were preserved for public display. They were recovered at the end of the excavation and sent to the ARC-Nucléart laboratory in Grenoble for conservation and restoration (Bernard-Maugiron, 2007). Jules Verne 9, preserved over 5 m in length and 1 m in width, was recovered in two ensembles, one side having been detached from the other along the longitudinal axis of the keel. During excavation, wooden moulds were made to support the remains of the hull in preparation for extraction. In Grenoble, before conservation treatment using polyethylene glycol (PEG) impregnation, these moulds were replaced by a stainless-steel frame. The dimensions of each part of the Jules-Verne 9 were adapted to the dimensions of the freeze dryer, whose diameter is limited to 1 m.

Jules-Verne 7 was recovered in five large ensembles, given the fractures evident on the wreck. The dimensions of each piece led the restorers to opt for spraying the wood with increasing concentrations of PEG. This treatment was followed by drying in a controlled atmosphere. The spray treatment lasted two years and the drying one year.

After treatment, both wrecks required extensive surface cleaning to remove the excess PEG, followed by restoration. Since 2013, the Jules-Verne 7 and 9 wrecks have been on display at the Marseille History Museum. Jules-Verne 9 is presented on a frame suggesting the original reconstructed shape of the boat [Figure 1], while Jules-Verne 7 is presented as it was found.

Naples

The archaeological excavation undertaken in Naples before the construction of the city's metro lines 1 and 6 provided a unique opportunity to explore the ancient Neapolitan coastal landscape (Giampaola, Carsana, Boetto *et al.* 2005). Besides the discovery of impressive port infrastructure, these investigations revealed evidence of seven vessels dating back to the Hellenistic era and to the Roman Empire.

Between 2003 and 2004, the remains of three vessels (Napoli A, B and C) were discovered in the station of Metro Line 1 in Piazza Municipio [Figure 2]. Napoli A and C were abandoned at the end of the 1st century AD, while Napoli B and its cargo of lime and stones, was wrecked at the end of the 2nd-beginning of the 3rd century AD. Napoli A and B correspond to transport vessels (Giampaola, Carsana, Boetto *et al*., 2005, p. 63-76; Poveda, 2012, p. 95-198; Boetto and Poveda, 2018), while Napoli C is a transom bow ship used for harbour service, identified as a *horeia*-type vessel (Boetto, 2009; Boetto and Poveda, 2014; Poveda, 2012, p. 203-296).

Ten years later, a fourth wreck (Napoli E) was uncovered in the passageway (Area 4) connecting the stations of Lines 1 and 6 to the modern touristic harbour (Stazione Marittima). This wreck is dated to the Hellenistic era (2nd century BC). At the end of the year 2014, another wreck was discovered (Napoli F), while two others wrecks (Napoli G and H) and a wooden anchor were uncovered the following year. Napoli H is dated to the 2nd century BC, and Napoli F and G are dated between the end of the 2nd and the beginning of the 3rd century AD (Boetto, Poveda and Zazzaro, 2021).

The seven wrecks were recovered using different methods. Napoli A and C, with a preserved length of around 12 m and 13 m respectively and with very limited distortion of the longitudinal and transverse sections, were recovered in one piece using a variant of the «fibreglass shell» method promoted by the Italian Ministry of Culture. In Comacchio (Meucci and Berti, 1997), Ravenna (Maioli and Medas, 2001) and Pisa (Camilli, 2002), the fibreglass shell covered the inside and outside of the wrecks, so that the wooden structures were sandwiched between two fibreglass

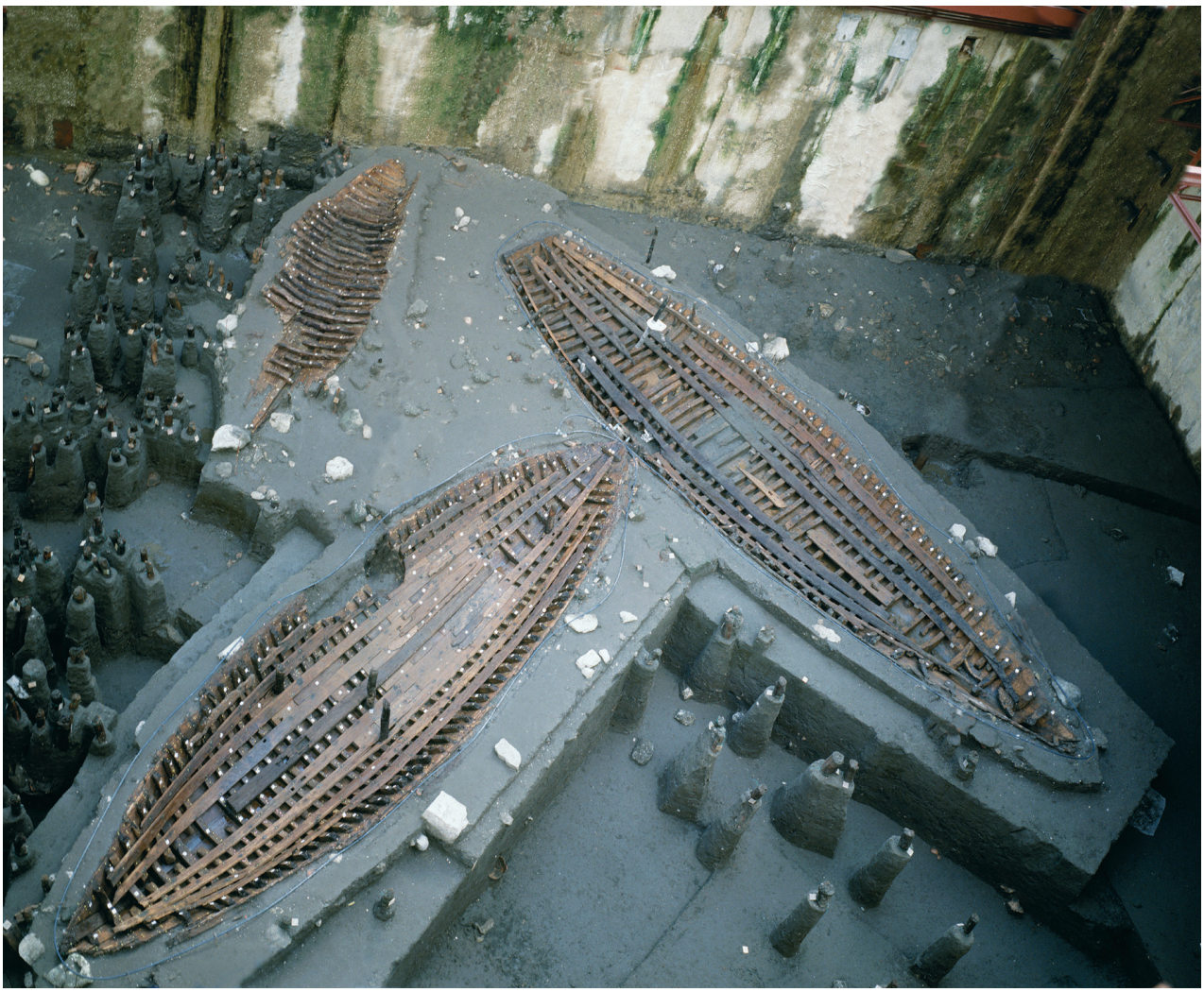


Figure 2. The shipwrecks Napoli A, B and C. Photo: G. Avallone, courtesy of Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio del comune di Napoli.

shells. The idea was to use this structure also during the conservation treatment: the PEG would circulate in the space between the double fibreglass shells to impregnate the wood.

In Naples, after excavating the layers inside the wrecks, the internal ceiling was partially dismantled in order to clean the room-and-space between the frames and to study the ship structure. Heavy metal scaffoldings were built around the wooden remains and the underlying sediments (Giampaola, Carsana, Boetto *et al.*, 2005, p. 76-82). These solid structures had to support not only the weight of the fibreglass shells and the waterlogged wood, but also the weight of the PEG during the conservation treatment. This system enabled the archaeologists to dig underneath the shipwrecks in order to examine and fully document the outside of the preserved bottom of the hulls [Figure 3]. In this way, a number of different repairs, testifying to the long life of the ships, were revealed.

Twenty years later, Napoli A and C are still preserved in a depository of the Archaeological Superintendency of Naples, encased in the metal scaffolding and the fibreglass shells. The fiberglass shells are filled with fresh water to assure the preservation of the wood, but the conservation treatment has not yet begun. Napoli B and the four wrecks discovered in 2014-2015 have been dismantled and are also preserved in fresh water. Only Napoli E, with a maximum conserved length of 1.5 m, was consolidated using PEG and then freeze dried by the Istituto Centrale per il Restauro (Rome).



Figure 3. The fiberglass shell under construction on the prow of Napoli C shipwreck. Photo: G. Boetto, CNRS/CCJ.

Pula

In 2013, during excavations prior to the construction of rainwater and sewage collectors in Flacius Street, Pula, two Roman sewn ships, Pula 1 and 2, were found. Abandoned in the harbour at the end of the 2nd-beginning of the 3rd century AD, both ships were built around the second and the third quarter of the 2nd century AD (Boetto, Koncani Uhač and Uhač, 2017, p. 192-196).

While lying in the same archaeological context, the remains correspond to two different ships. The smaller wreck, Pula 2, is a coaster of about 9 m in length, which served for light transport and fishing. The larger wreck, Pula 1, is a sailing merchant vessel of about 15-17 m long. The planking is sewn, but in two different ways: Pula 2 has simple overedge stitches (/// pattern), while the sewing of Pula 1 is more elaborate and made of overedge stitches with a clamping turn (/I/I/I pattern). These wrecks belong to the north-eastern Adriatic or Istro-Liburnian sewn-boat tradition dating back at least to the Late Bronze Age, as the Zambratija wreck, discussed later in this article, testifies (Pomey and Boetto, 2019, p. 10-12). This tradition survived until the Roman era in Istria and Dalmatia.

The salvage operation started on the smaller of the two vessels, Pula 2 (Koncani Uhač, Petrović and Sardoz, 2017). After the recovery of the frames that were not in their original position, the planking, which lay flat and badly damaged, was retrieved in sections in accordance with some visible breaks in the hull [Figure 4]. Pula 1 was recovered in one piece using transversal moulds adapted to the profile of the wreck and fixed to a metal frame.



Figure 4. Recovery of Pula 2. In the foreground Pula 1. Photo: T. Braiković, Archaeological Museum of Istria.

After being stored in a tank of fresh water, Pula 1 and 2 were sent to the ARC-Nucléart laboratory for conservation by PEG/freeze drying. It is important to underline that, due to the dimensions of the freeze drier, Pula 1 had to be dismantled into two major parts not larger than 3 m. Currently, both the treated shipwrecks are stored in boxes awaiting future display in Pula.

Zambratija

The earliest evidence of the Adriatic sewn-boat traditions is provided by the Zambratija wreck (Umag, Croatia), which was reported to the Archaeological Museum of Istria in 2008, assessed in 2008-2010, and excavated in 2011 and 2013. The wreck, found empty and without cargo, is dated between the last quarter of the 12th and the last quarter of the 10th century BC. The preserved part of the boat is 6.7 m long and 1.6 m wide, and the reconstructed length around 10 m. Zambratija is a fully sewn boat: the sewing of the planking is made up of simple overedge vegetal stitches (/// pattern) and the frames are lashed to the planking (Koncani Uhač, Boetto and Uhač, 2019; Pomey and Boetto 2019, p. 8-10).

Because of its exceptional interest, the Archaeological Museum of Istria decided to recover the Zambratija wreck in July 2023 and exhibit it to the public in a future museum that will also house the Pula wrecks. It has also been decided that the museum will continue working with the ARC-Nucléart laboratory to preserve the wreck by PEG impregnation followed by freeze drying. Given the costs involved in recovering the wreck in one piece, the technical difficulties of such an operation, and the size of the freeze dryers available in Grenoble, it was decided to recover the wreck in several pieces.

Recovery of the three floor beams posed no particular problem, as the stitches connecting them to the planking were not preserved. However, a specific method was developed by Pierre Poveda (CNRS, Centre Camille Jullian) in order to recover the planking. Custom-made supports were designed for the planking, which consisted of eight strakes. The plan was to recover the longest strake, the keel plank, around 7 m long, in three sections, most of the other strakes in two sections, and the two smallest in a single piece. The cuts were located at the level of existing breaks or under the floor timbers. In this way, they will be invisible when the wreck is mounted on its support in the museum.

Three-dimensional models of each structure (strakes, frames etc.) were produced using photogrammetry of the wreck and its components that was conducted in 2013. This made it possible to obtain separate moulds adapted to the profile of each section of the strakes. Each mould was made up of a number of separate elements cut directly from PVC panels. The system worked successfully: each composite mould was inserted under the strake and, after securing the wood with Velcro strips, each section was recovered [Figure 5].



Figure 5. Recovery of part of a strake. Photo: L. Damelet, CNRS/CCJ, Adriboats/ Archaeological Museum of Istria.

The operation also included a specific documentation process in a fully equipped storage facility of the Archaeological Museum of Istria. Each section of the wreck was cleaned, scanned, photographed in detail and then turned over to carry out the same steps on the outside. At the same time, a dendroarchaeologist analysed the cross sections to study the morphology of each element and its position in the tree. Tree-ring measurements will be done from photographs taken specifically for this purpose. The elements are currently stored in a tank filled with fresh water. If necessary, further documentation will be carried out in Grenoble where the Zambratija wreck will be transported for conservation treatment.

Conclusion

The examples briefly presented in this article illustrate the different methods used to recover ancient wrecks in the Mediterranean. Each method has been carefully chosen, taking into account a range of constraints.

It should also be emphasised that the scientific study of a wreck is an extraordinary opportunity to deepen our knowledge of ancient shipbuilding and the history of technology, and all the more so if the wreck is dismantled. This is, in a way, a method of preserving the wreck even though recovery of the wooden structure is not possible.

In conclusion, the recovery is only the beginning of a new life for the wreck, which has become an exceptional artefact with its own requirements in order to be conserved and displayed in the best way. A fruitful dialogue between archaeologists, restorers and museum curators is one of the secrets of success in such complex operations.

References

Bernard-Maugiron, H. (2007). Marseille, mille objets et trois épaves à conserver. In H. Bernard-Maugiron, Ph. Coeuré, M. Clermont-Joly, J. Duchêne, P. Vaudaine and P. Veysseyre (Eds.), *Sauvés des eaux. Le patrimoine archéologique en bois. Histoire de fouilles et de restaurations* (pp. 77-78). ARC-Nucléart.

Boetto, G. (2009). New archaeological evidences of the Horeia-type vessels: the Roman Napoli C shipwreck from Naples (Italy) and the boats of Toulon (France) compared. In R. Bockius (Ed.), *Between the seas. Transfer and Exchange in Nautical Technology, Proceedings of the Eleventh International Symposium of Boat and Ship Archaeology* (pp. 289-296). Verlag des RGZM (RGZM Tagungen Bd, 3).

Boetto, G.and Poveda, P. (2014). La restitution de *Napoli C*, un navire romain à tableau. *Dossiers d'Archéologie*, 364, 64-65.

Boetto, G.and Poveda, P. (2018). Napoli A, un voilier abandonné dans le port de Neapolis *à la fin du Ier siècle: architecture, fonction, restitution et espace de navigation*. In G. Boetto and É. Rieth (Eds.), *De re navali. Pérégrinations nautiques entre Méditerranée et océan Indien. Mélanges en l'honneur de Patrice Pomey* (pp. 19-56). CNRS éditions.

Boetto, G., Koncani Uhač, I.and Uhač, M. (2017). Sewn ships from Istria (Croatia): the shipwrecks of Zambratija and Pula. In J. Litwin (Ed.), *Baltic and beyond. Change and Continuity in Shipbuilding, Proceedings of the Fourteenth International Symposium on Boat and Ship Archaeology* (pp. 189-198). National Maritime Museum Gdánsk.

Boetto, G., Poveda, P.and Zazzaro C. (2021). Final Report on the Remains of Four Vessels Found in the Ancient Harbour of Naples, Italy, Dating to the Late 2nd Century BCE and the Late 2nd-Late 3rd Century CE. In S. Demesticha and L. Blue (Eds.), *Under the Mediterranean I. Studies in Maritime Archaeology* (pp. 59-74). Sidestone Press.

Camilli, A. (2002). *Cantiere delle navi di Pisa. La nave C "Giuditta" dallo scavo al laboratorio*. Ministero per i Beni e le Attività Culturali.

Giampaola, D., Carsana, V., Boetto, G., Bartolini, M., Capretti, C., Galotta, G., Giachi, G., Macchioni, N., Nugari, M. P.and Pizzo, B. (2005). La scoperta del porto di *Neapolis*: dalla riscostruzione topografica allo scavo e al recupero dei relitti. *Archaeologia Maritima Mediterranea*, 2, 47-91.

Koncani Uhač, I., Boetto, G.and Uhač, M. (2019). *Zambratija. Prapovijesni šivani brod. Rezultati arheološkog istraživanja, analiza i studija / Prehistoric sewn boat. Results of the Archaeological Research, Analysis and Study*. Arheološki muzej Istre (Monografije I katalozi, 33).

Koncani Uhač, I., Petrović, M.and Sardoz, A. (2017). Projekt zaštite rimskog šivanog broad Pula 2: od mulja do ponovnog sjaja / Protection project of the Roman sewn boat Pula 2: from sludge to its former splendour. *Histria Archaeologica*, 48, 151-168.

Maioli, M. G.and Medas, S. (2001). Il relitto tardo-romano del Parco Teodorico Ravenna: dallo scavo al recupero. *Navis, rassegna di studi di archeologia, etnologia e storia navale*, 2, 105-135.

Meucci, C.and Berti, F. (1997). *La nave di Comacchio: documenti di un restauro*. Soprintendenza archeologica per l'Emilia Romagna.

Pomey, P. (1995). Les épaves grecques et romaines de la Place Jules-Verne à Marseille. *Comptes Rendus Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, avril-juin, 459-484.

Pomey, P. (1997). Un exemple d'évolution des techniques de construction navale antique: de l'assemblage par ligatures à l'assemblage par tenons et mortaises. In D. Garcia and D. Meeks (Eds.), *Techniques et économie antiques et médiévales 'Le temps de l'innovation'* (pp. 195-203). Errance.

Pomey, P. (2000). Un témoignage récent sur la pêche au corail à Marseille à l'époque archaïque. In J.-P. Morel, C. Rondi-Costanzo and D. Ugolini (Eds.), *Corallo di Ieri. Corallo di Oggi* (pp. 37-39). Edipuglia.

Pomey, P. (2003). Reconstruction of Marseilles 6th century BC Greek ships. In C. Beltrame (Ed.), *Boats, Ships and Shipyards, Proceedings of the Nineteenth International Symposium on Boat and Ship Archaeology* (pp. 57-65). Oxbow Books.

Pomey, P. (2010). De l'assemblage par ligatures à l'assemblage par tenons et mortaises. Introduction. In P. Pomey (Ed.), *Transferts technologiques en architecture navale méditerranéenne de l'Antiquité aux temps modernes: identité technique et identité culturelle* (pp. 15-26). IFEA-De Boccard (Varia Anatolica, XX).

Pomey, P. (2014). Le projet Prôtis. Construction de la réplique navigante d'un bateau grec du VIe siècle av. J.-C. *Comptes Rendus Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, juillet-octobre, 1333-1357.

Pomey, O. (2017). The Prôtis project (Marseilles, France). The construction of a sailing replica of an Archaic Greek Boat. In J. Gawronsky, A. van Holk and J. Schokkenbroek (Eds.), *Ships and Maritime Landscapes, Proceedings of the Thirteenth International Symposium on Boat and Ship Archaeology* (pp. 484-489). Barkhuis Publishing.

Pomey, P.and Boetto, G. (2019). Ancient Mediterranean Sewn Boat Traditions. *International Journal of Nautical Archaeology*, 49(1), 5-51.

Pomey, O.and Poveda, P. (2017). The Prôtis Project: the Gyptis sailing trials. In J. Litwin (Ed.), *Baltic and beyond. Change and Continuity in Shipbuilding, Proceedings of the Fourteenth International Symposium on Boat and Ship Archaeology* (pp. 229-236). National Maritime Museum Gdánsk.

Pomey, O.and Poveda, P. (2018). Gyptis: Sailing Replica of a 6th-century-BC Archaic Greek Sewn Boat. *International Journal of Nautical Archaeology*, 47(1), 45-56.

Poveda, P. (2012). *Le navire antique comme instrument du commerce maritime: restitution 3D, tonnages, qualités nautiques et calculs hydrostatiques des épaves Napoli A, Napoli C, Dramont E et Jules-Verne 7* [Unpublished doctoral thesis]. Aix Marseille University.

The conservation of Jules Verne 7 and Jules Verne 9 boats

Henri Bernard-Maugiron
Senior conservator. ARC-Nucléart. Grenoble. France

Abstract: Archaeologist Patrice Pomey and his team (CNRS-CCJ) excavated and extracted two archaic Greek boats in Marseille in 1993. Good state of preservation of the shipwrecks, rare shipbuilding details and dating linked to the early Greek settlers in Marseille lead to the decision of preservation of both boats. ARC-nucléart, French laboratory dedicated to archaeological waterlogged wood conservation in Grenoble, was in charge of treating them. As two different stabilisation options have been selected, conservation treatments are described: JV9 boat was successively impregnated with PEG 400 and 4000 solutions followed by freeze-drying. JV7 boat was impregnated by spray with combined PEG 400 and 4000 followed by slow air-drying.

For display, the «Musée d'Histoire de la Ville de Marseille» selected two different presentation modes. JV9 boat remains have been inserted in a torso supporting system. This mode is strongly inspired by the beautiful Roskilde Viking ship presentation. JV7 boat remains are presented in the museum in their state of discovery. Reshaping the hull was considered at first but it seemed too difficult and dangerous since most of the strakes are still in connection with tenons. Only slight corrections have been made. Comparison between archaic Greek boats and Arles-Rhône-3 roman boat projects are also discussed. The main difference lies in the way the projects were carried out: step by step project versus global project. In conclusion, some reflections are developed about *Mazarrón 2* project: iron sulphide, showcase, climate control and long term monitoring.

Keywords: waterlogged wood, shipwreck, polyethylene glycol, restoration, mounting

Resumen: El arqueólogo Patrice Pomey y su equipo (CNRS-CCJ) excavaron y extrajeron dos barcos griegos arcaicos en Marsella en 1993. El buen estado de conservación de los pecios, los singulares detalles de construcción naval y la datación vinculada a los primeros pobladores griegos de Marsella llevaron a tomar la decisión de conservar ambas embarcaciones. El ARC-nucléart, laboratorio francés dedicado a la conservación arqueológica de la madera anegada, ubicado en Grenoble, fue el encargado de llevar a cabo el tratamiento de los pecios.

Como se seleccionaron dos opciones de estabilización diferentes, se describen los tratamientos de conservación empleados: El barco JV9 se impregnó sucesivamente con soluciones de PEG 400 y 4000, seguidas de liofilización. La embarcación JV7 se impregnó por pulverización con PEG 400 y 4000 combinados, seguida de un secado lento al aire.

Para su exposición, el «Musée d'Histoire de la Ville de Marseille» seleccionó dos modos de presentación distintos. Los restos del barco JV9 se han colocado en un sistema de soporte inspirado en la bella presentación de los barcos vikingos de Roskilde. Los restos del barco JV7 se exhiben en el Museo en el estado en que fueron descubiertos. Inicialmente se pensó en remodelar el casco, pero fue descartado por lo difícil y peligroso del procedimiento, ya que la mayoría de las tracas del pecio siguen unidas con espigas. De esta forma, finalmente solo se han hecho ligeras correcciones.

También se analizan las comparaciones entre los proyectos desarrollados en los barcos griegos arcaicos y los barcos romanos Arles-Rhône-3. La principal diferencia radica en la forma en que se llevaron a cabo: proyecto paso a paso frente a proyecto global.

Para concluir se desarrollan algunas reflexiones sobre el proyecto *Mazarrón 2*: sulfuro de hierro, exposición, control climático y seguimiento a largo plazo.

Palabras clave: Madera anegada, pecio, polietilenglicol, restauración, montaje

1. Marseille Greek archaic boats

1.1. Place Jules Verne archaeological excavation

In 1993 an archaeological excavation was conducted down town Marseille close to the Vieux Port before the construction of an underground car park. Part of the ancient shore with its Greek and Roman port facilities were discovered. Archaeologist Patrice Pomey and his team excavated five roman and two archaic Greek shipwrecks (Pomey, 1995). Good state of preservation of the archaic Greek boats, rare shipbuilding details and dating - end of the sixth century BC - linked to the early Greek settlers in Marseille lead to the decision of preservation of both boats JV.7 and JV.9.

1.2. JV.9 boat

JV.9 remains are 5 meters long. Its shipbuilding particularity is that strakes and frames are sewn together.

1.2.1. JV.9 Extraction

JV.9 has been separated in two halves. A cradle made of wood and Styrofoam was built for each part and then sent to Grenoble for treatment.

1.2.2. JV.9 Treatment

Well preserved, but with waterlogged wood highly degraded, it has been decided to make a PEG impregnation. Before treatment, the two halves of JV.9 were conditioned on stainless steel supports. In 1994 and 1995, the wood was successively impregnated with 25% of PEG 400 during 3 months then with 40% of PEG 4000 during 10 months.

1.2.3. JV.9 Freeze-drying

Drying the wood was obtained by freeze-drying (Figure 1). Unfortunate cooling incident during freeze drying made distortion of some strakes because of lack of supporting.



Figure 1. Freeze-drying of JV.9.

1.2.4. JV.9 Restoration

All the strakes have been individually restored in 1996

1.2.5. JV.9 Presentation mode

In 1999 the museum of Marseille proposed to the public a presentation of JV.9 through a small showcase. The boat was visible only from top. This presentation was judged inappropriate. So, in 2010 a new presentation had to be conceived. Based on JV9's archaeological restitution study done by Patrice Pomey and Roskilde Viking ships presentation, the new support was to suggest the entire shape of the boat using a light steel structure capable of accommodating the wreck fragments (Chaumat, Tran, Helias *et al.*, 2017). As the total length is nine meter long and because the making is to be done in Grenoble, 300 km away from Marseille, the support had to be easily dismountable. For aesthetic reason, the support rests only on three legs positioned in the shipwreck axis.

Made from the theoretical restitution, it quickly became clear that the frame could not receive some of the deformed strakes. Adapted support for each strake allowed fitting them in the general presentation frame (Figure 2). Polyethylene Plastazote© foam covered the oven painted metallic frame to avoid any contact with wood.



Figure 2. Insertion of JV.9 strakes in the support.

1.2.6. JV.9 Museum installation

Disassembled piece by piece, JV.9 boat and his support have been packed and sent to Marseille. Once in the museum, the support has been reconstructed and all the wooden pieces were placed in connection. Since 2013, the « Musée d'Histoire de la Ville de Marseille » presents JV.9 in an open space (Figures 3.1 and 3.2). Large white pebbles limit the public access to the boat remains.



Figure 3.1. JV.9 boat's remains on display.



Figure 3.2. JV.9 boat's remains on display.

1.3. JV.7 boat

1.3.1. JV.7 Extraction

Taking into account that JV.7, a 14-meter long shipwreck, was partly broken, the archaeologists proceeded to the extraction keeping intact the parts still in connection. Each section received appropriate support made of wooden cradle and Styrofoam. The longest section, eleven meter long, was extracted using a metallic cradle with wooden floor and Styrofoam.

1.3.2. JV.7 Wet storage

The Greek archaic boats were discovered and excavated few weeks before the end of the mission. No money was available for any conservation treatment to start. It took several years to raise funds. Meanwhile, JV.7 had to be kept wet. A storage with water spraying system lasted until 2000.

1.3.3. JV.7 Pre-treatment

Unfortunately, the water spray was too calcareous. Therefore, some solid white concretions settled on wood surface. Cellulose patches soaked with chelating agent sodium hexametaphosphate achieved to remove the concretions.

Some modification of the extraction support was done to turn it into a treatment support. Stainless steel bars and plastic grid replaced Styrofoam to support the strakes

1.3.4. JV.7 PEG treatment

The next challenge was to determine how to treat this huge set of waterlogged wood. The largest piece was 11 x 3 meters. Most of the strakes were very thin and still joined together by tenon and mortise system.

PEG impregnation by immersion could be an option. However, it would have been very expensive because of the large amount of PEG to use and also very risky because of buoyancy of long and fragile strakes. To sidestep this issue, PEG impregnation has been performed by spray (Chaumat, Bernard-Maugiron, Gelas *et al.*, 2001). A sealed 12 x 6 meter tank hosted all JV.7 pieces (Figure 4). A PEG solution heated to 50°C maximum was sprayed on the wood during 3 years. Due



Figure 4. 11 meter long JV.7 largest piece being placed in the impregnation tank.

to the various states of degradation of JV.7's wood, the PEG solution was a combination of PEG 400 and PEG 4000. The concentration raised progressively up to a final concentration of respectively 15 and 73% mid-2003. At the beginning, PEG was added every month to the solution, then evaporation was controlled to reach the final concentration. PEG solution and wooden samples were analysed regularly to monitor the impregnation treatment. To prevent microorganism development, 200 litres of biocide were used.

1.3.5. JV.7 Slow air-drying

Some of JV.7 pieces could not be freeze-dried. Too big! The only global drying possible program was a slow air-drying. We built a tent made of a wooden structure covered by plastic film. An air conditioner regulated the relative humidity from 90 to 60%. Monitoring electrical conductivity in wood samples allowed driving drying rate. After 1.5 years the slow air drying ended in mid-2004.

1.3.6. JV.7 Restoration

Cleaning the wood surface was time consuming. White PEG 4000 excess was removed with hot water, hot air and paper towel. Acrylic resin such as Paraloïd B72 was used for consolidation and restoration of broken wooden pieces. Restoration took place in 2011-2012

1.3.7. JV.7 presentation mode

JV.7 hull is opened, flattened and separated in large elements. Thanks to the study of the shipbuilding of the remains, archaeologist Patrice Pomey succeeded in proposing a theoretical reconstruction of the possible shape of the original hull. To display JV.7 shipwreck in the museum, reshaping it was considered first. However, it seemed too difficult and dangerous since most of the strakes are still assembled by tenons. It is therefore, in the archaeological state of discovery that JV.7 has been put on display. Only minor corrections were made.

To make the iron support of the 11 metre long largest element, work has been done under the remains, replacing one by one the old support parts. The 3-meter long medium size JV.7 elements, with strakes still assembled together by tenons, were inserted in wooden boxes, protected by a plastic film and encapsulated in polyurethane foam. After rotation of the box, the underside of the strakes was released. The manufacturing of the support became much easier (Figure 5). It took place from 2012 to 2013.



Figure 5. Rotation of a JV7's element secured with polyurethane foam and his display support after being manufactured up side down.

1.3.8. JV.7 Packing and transportation

Once restoration and supports completed, all the elements have been secured in wooden boxes, loaded in trucks and delivered to Marseille.

1.3.9. JV.7 Installation at the museum

We faced a new challenge in Marseille. How do you deliver a 13-meter-long, 5-ton crate to the museum when you have to drive 100 meters through an archaeological park with no road access. A 700-ton crane lifted the crate and took it across the park, delivering it just outside the front door. Once the crates were rolled to the final location, all JV.7 elements were unpacked and assembled (Figures 6.1 and 6.2). Large white pebbles limit the public access to the boat remains. The opening of the «Musée d'Histoire de la Ville de Marseille» took place in September 2013.



Figure 6.1. Final installation of JV.7.



Figure 6.2. Final installation of JV.7.

2. Comparison of Marseille/Arles-Rhône-3 projects

The Marseille archaic Greek boat project was a step by step project. Fundraising was carried out independently for each stages. 1 - excavation, 2 - wet storage, 3 - treatment, then finally, 4 - restoration, support and display. In the meantime, long stops occurred. Excavated in 1993, the boats have been put on display in the museum, twenty years later, in 2013. Arles-Rhône-3, a gallo-roman boat discovered in the Rhône river in front of Arles (Marlier, 2014), has been raised from the water at the condition that the project included, from the beginning, underwater excavation, raising, treatment, restoration, support system and museum extension for display (Marlier, Poveda, Ranchin *et al.*, 2017). This global project imposed close collaboration with all partners and political decision. A project manager, hired by the museum, led the whole project, allowing a constant link between curators, archaeologists, companies, politics and media. He also was in charge of timeliness. Ended in 2013, the project was done in less than 3 years (Bernard-Maugiron and Courboulès, 2016). The result is a significant time and money saving, a gain of efficiency and a coherent project (Bernard-Maugiron and Marlier, 2020).

3. Reflections on the *Mazarrón 2* project

3.1. Iron sulphide

No iron nails are mentioned in the construction of *Mazarrón 2*. However, iron sulphide is a big issue (Bernard-Maugiron, Blanc and Viviés, 2020). It is probably easier to cope with it when the wood is still waterlogged. Sampling and analysis to check for possible wood contamination is suggested before treatment.

3.2. Showcase and climate control

A showcase may represent a nuisance to the visitor. However, you have to consider that it provides an indisputable protection against dust and malicious acts. Especially when it is a priceless cultural heritage. However, you have to keep in mind that you need enough space inside for access and maintenance. Treated wood emits volatile organic compounds; you must ensure adequate ventilation and filtration. Depending on how the wood is treated, it is more or less sensitive to relative humidity. Relative humidity is influenced by outdoor weather and visitors. Air conditioning might be necessary but air conditioning maintenance is often a problem. Air volume in a showcase is much less important to treat and regulation is easier to control than that of the whole museum. It does not cost the same. In this period when sustainable development is becoming a necessity, it is important to provide reliable, low-tech and energy-efficient equipment.

3.3. Long term monitoring

Even if raising and restoring *Mazarrón 2* is a fantastic challenge, this is only one part of the work. Once in the museum, *Mazarrón 2* will have to face years of conservation and maintenance. It is suggested to anticipate all the needs of documentations and the ways to take care (Courboulès, Peloso and Dumas, 2017) of this priceless relic.

4. Conclusion

The confrontation of all the international projects of shipwrecks conservation presented at the international meeting of Cartagena, the numerous feedback from the Spanish work already carried out and the willingness of the Spanish authorities to support and complete the *Mazarrón 2* project augur in the best way the continuation of this exciting challenge.

Bibliography

Bernard-Maugiron, H., Blanc, L.and de Viviés, P. (2013). A Case Study: The analysis and restoration of pyrite-contaminated composite waterlogged wood of a Gallo-Roman barge from Arles. *Proceedings of the 12th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Istanbul.*

Bernard-Maugiron, H.and Courboulès, M.-L. (2016). Case Study: "Is it possible and reasonable to treat a 31-metre waterlogged Roman boat in just two years?". *Proceedings of the 13th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Florence* (pp.115-124).

Bernard-Maugiron, H.and Marlier, S. (2020). The Arles-Rhône 3 barge, from the river to the museum. *TINA, maritime archaeology periodical*, 14, 56-85.

Chaumat, G., Bernard-Maugiron, H., Gelas, A.and Barthez, J. (2001). New approach to saturation spraying treatment by using an «atomisation» process. *Proceedings of the 8th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Stockholm, 2001* (pp. 353-361).

Chaumat, G., Tran, K. Q., Helias, F., Fierro-Mirkovich, S., Garrivier, S., Bernard-Maugiron, H.and Froment, K. (2017). *Conservation-restauration du bois archéologique gorgé d'eau, Techniques de l'ingénieur. Réf. N4250 V1, 10 août 2017.*

Courboulès, M.-L., Peloso, D.and Dumas, V. (2017). *Développement d'un protocole de suivi et conservation des épaves.* https://www.openscience.fr/Developpement-d-un-protocole-de-suivi-et-conservation-des-epaves

Marlier, S. (2014). *Arles-Rhône 3, un Chaland Gallo-Romain du 1er Siècle après Jésus-Christ (Archaeonautica 18)*. CNRS éditions.

Marlier, S., Poveda, P.and Ranchin, N. (2017). The Arles-Rhône 3 project: From the excavation and raising of a Gallo-Roman barge, in the southern coastal French city of Arles, to its documentation and modelling in 3D (2011-2012). *13th International Symposium on Boat and Ship Archaeology (ISBSA 13) (Amsterdam, 8-12 octobre 2012)* (pp. 283-289).

Pomey, P. (1995). Les épaves grecques et romaines de la place Jules-Verne à Marseille. Comptes rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres (pp. 459-484).

Summary of the presentation hold at the International Meeting of Experts on the extraction and conservation of the ship *Mazarrón 2* National Museum of Underwater Archaeology (ARQVA)

Markus Wittköpper
Leibniz Zentrum für Archäologie Mainz (former RGZM/ Roman Germanic Central Museum)
Department Museum for Ancient Seafaring D 55116 Mainz Neutorstrasse 2b

The extraction and conservation of two roman warships, Oberstimm 1 and 2 carried out in segments[1]

In 1986, two Roman ships from the second century AD were discovered (and intersected) by an excavation machine during an archaeological field survey in Bavaria/Oberstimm[2]. In 1994, a rescue excavation was conducted due to the falling groundwater table. The two boats were well-preserved, reaching a length of 15m and a width of 2.50m, they were built in a Mediterranean style, assembled using the mortise-and-tenon technique. The planks were made of pine, while the frames and keel were made of oak. Dismantling the ship piece by piece would have destroyed the wooden joints. Therefore, extracting each ship in two segments (length 6m) using wooden salvage framework appeared to be the most reasonable approach. After both boats were transported to the restoration labs in Mainz, the rescue frames were modified into treatment tanks to preserve the objects in a precise fit. (largest tank 6.5 m3, all together about 20 m3) Subsequently, the wooden surfaces were gently cleaned of sediment residues, and the tanks then filled with deionized water to wash out substances that had penetrated into the wood cells during the burial. At the RGZM, melamine resins have been utilized for wet wood conservation since the 1960s. The current method is published as the «Kauramin Method».

After the cleaning, the tanks were filled with a 25% solution of Kauramin 800. The impregnation time lasted for 10-11 months.

Then, the objects were treated in a heating chamber at 50°C for 5 days to cure the melamine resin.

The wrecks were then air-dried under controlled conditions.

Longitudinal shrinkage: ca. 0,5% Tangential shrinkage: ca. 1%

Since 2005, the Roman boats from Oberstimm have been exhibited near their discovery site at the kelten römer museum manching[3].

---

1 Hoffmann „The Kauramin method« in Conservation of Archaeological Ships and Boats Archetype Publications 2013Wittköpper „The Conservation of the boats from Oberstimm/Bavaria« TINA Maritime Archaeology periodical 2020 no. 13, 118-132

2 R. Bockius 2002 «Die römerzeitlichen Schiffsfunde von Oberstimm in Bayern» Mainz 2002

3 kelten römer museum manching im Erlet 2 85077 Manching

The KUR website, a comparison of different wood conservation methods

A study as part of the KUR (Konservierung und Restaurierung) project «Mass Finds in Archaeology» 2008 to 2011

The aim of the research project was to compare obejctively the most commonly used conservation methods for the conservation of waterlogged archaeological wood. Therefore, statistically evaluable quantities of unpreserved test specimens were produced from archaeological wet wood (900 samples 10cmx10cmx10cm of archaeological, waterlogged wood; different wood species in different state of degradation) and their preliminary condition was documented. In order to exclude application errors, the conservation of the sample timbers was conducted by colleagues familiar with the applied methods and whose laboratories are appropriately equipped.The following national and international institutes participated in the study:

- Danish National Museum Copenhagen, A. Le Boedec Moesgard, PEG one step
- Brandenburg State Office for the Preservation of Monuments in Zossen: S. Brather, PEG two steps, lactitol/trehalose
- Archaeological State Collection Munich: V. Gemsjäger-Ziegaus, S. Klonk, PEG three steps
- Saxon State Office for Archaeology in Dresden: S. Gebhard, Sucrose
- Roman-Germanic- Central Museum Mainz: W.. Muskalla, M. Wittköpper, Kauramin 800
- Swiss National Museum in Zurich: C. Andre, K. Schmitt-Ott, alcolhol ether resin
- Department of Anthropology, A&M University in Texas: W. Smith, H. Dewolf, silicone oil

After conservation, all wood samples were meticulously documented (evaluation of conservation result with ASE (anti shrink efficiency), physical measurement, dimensional changing evaluation using 3 D scanning before and after conservation, photo documentation before and after conservation, - wood anatomic analyses, lignin-cellulose analyses of every wood species) to accurately assess changes in volume, shape and color.

The documentation and its results are stored in a free database and accessible to everyone. In addition to information on conservation methods, detailed application techniques, stabilization results, costs (costs evaluation is based on a theoretical calculation) time required, etc. The database also allows for the presentation of individually structured statistical values in graphs. The KUR website provides colleagues and interested individuals with the opportunity to independently evaluate conservation results and present possible solutions for specific problems in wet wood conservation. The website is fully functional in German; the English texts are not yet completely translated.

Mass finds in archaeological collections in

https://www1.rgzm.de/kur *(last use 2023 October 01)*

https://www.leiza.de/kur (starting from 2024)

The Removal Methodology of Shipwreck Timbers from the Field to the Conservation Laboratory: The Case of Yenikapı Shipwrecks

Prof. Ufuk Kocabaş
ufuk.kocabas@istanbul.edu.tr

Assoc. Prof. Işıl Özsait-Kocabaş
hatice.kocabas@istanbul.edu.trIstanbul

University Department of Conservation and Restoration of Artefacts
Division of Conservation of Marine Archaeological Objects
Istanbul University Letters Faculty, İstanbul 34134, Türkiye

Abstract: It has been ten years since the Marmaray-Metro excavations by the Istanbul Archaeological Museums were completed. During the archaeological salvage excavations in Yenikapı district, the Theodosius Harbor, the great commercial center of Constantinople, the remains of boats and ships, and thousands of archaeological finds were unearthed. Thirty-seven shipwrecks constituted the most extensive collection dating to the Byzantine period. Istanbul University's Department of Conservation of Marine Archaeological Objects undertook the dismantling, documentation, and construction technology studies of 27 shipwrecks and the conservation studies of 31 shipwrecks. Documentation, research on shipbuilding technology, and conservation processes of IU Yenikapı shipwrecks continue. This article deals with the working methodology of removing the numerous shipwrecks unearthed in a land excavation to the laboratory from the excavation site. In this context, the raising and conservation procedures on the Yenikapı shipwrecks are presented with examples. After in situ documentation, the hull timbers of the Yenikapı shipwrecks were removed from the field by various methods developed according to their preservation status, size, and shape and moved to the storage tanks in the IU Yenikapı Shipwrecks Project Application and Research Laboratory. During the ongoing process, they were taken into the conservation process according to the deterioration status of the hull timbers. PEG and melamine formaldehyde (Kauramin®) methods are used to conserve hull timbers.

Keywords: Boat and ship archaeology, raising, removal of shipwrecks, waterlogged wood conservation, Yenikapı shipwrecks.

Resumen: Hace diez años de la conclusión de las excavaciones en el Marmaray-Metro por parte de los Museos Arqueológicos de Estambul. Durante las excavaciones arqueológicas de salvamento en el distrito de Yenikapı en el puerto de Teodosio, el gran centro comercial de Constantinopla, se localizaron diversos restos de barcos y naves, entre otros miles de hallazgos arqueológicos. Treinta y siete naufragios constituyeron la colección más extensa de época bizantina hasta entonces hallada. El Departamento de Conservación de Objetos Arqueológicos Marinos de la Universidad de Estambul llevó entonces a cabo los estudios de desmantelamiento, documentación y tecnología de construcción de 27 pecios y los estudios de conservación de 31 pecios, procesos que hoy continúan sobre los pecios del IU Yenikapı. Este artículo trata de la metodología de trabajo necesaria para trasladar al laboratio los numerosos pecios hallados en una excavación terrestre. En este contexto, se presentan ejemplos los procedimientos de izado y conservación de los pecios de Yenikapı. Tras la documentación in situ, las maderas de los cascos de los naufragios de Yenikapı se retiraron me-

diante diversos métodos desarrollados en función de su estado de conservación, tamaño y forma, y se trasladaron a los depósitos de almacenamiento del Laboratorio de Aplicación e Investigación del Proyecto de Naufragios de Yenikapı del IU. Durante el proceso, se incluyeron proyectos de conservación en función del nivel de deterioro de las maderas de los cascos. Para conservar las maderas de los cascos se utilizaron los métodos de PEG y melamina formaldehído (Kauramin®).

Palabras clave: Arqueología de barcos y navíos, levantamiento, extracción de pecios, conservación de madera anegada, pecios de Yenikapı.

1. Introduction

Istanbul Archaeological Museums initiated an archaeological salvage excavation project at Üsküdar, Sirkeci, and Yenikapı districts, where the main stations of Marmaray and Metro railway hub will be constructed in 2004. During the fieldwork, the salvage project became the most significant archaeological research in the city's history (Kızıltan, 2010). One of the most important harbors of Constantinople, Theodosian Harbor (*Portus Theodosiacus*), was revealed in the Yenikapı district. The excavations confirmed that the harbor was established in this former cove and then silted by the Lycus (Bayrampaşa) Stream, about 300 m from today's shoreline. The archaeologists of Istanbul Archaeological Museums and geologists agree that the harbor was used until the 11th century at the latest (Asal, 2007). Excavation of the harbor has revealed thousands of artifacts that shed new light on the period's daily life, religion, trade, and technology. Among them, 37 shipwrecks constituted the most extensive medieval shipwreck collection ever found in a single site (Figure 1). Istanbul Archaeological Museums delegated the scientific work on the wrecks to the Istanbul University Division of Conservation of Marine Archaeological Objects (27 wrecks) and the Institute of Nautical Archaeology (8 wrecks) (Kocabaş, 2015; Pulak, Ingram and Jones, 2015). Istanbul University has established two laboratories for scientific studies on the shipwrecks. Yenikapı Shipwrecks Project team, supervised by Prof. Ufuk Kocabaş, continues documentation, technology research, and conservation studies of hull timbers in these laboratories.

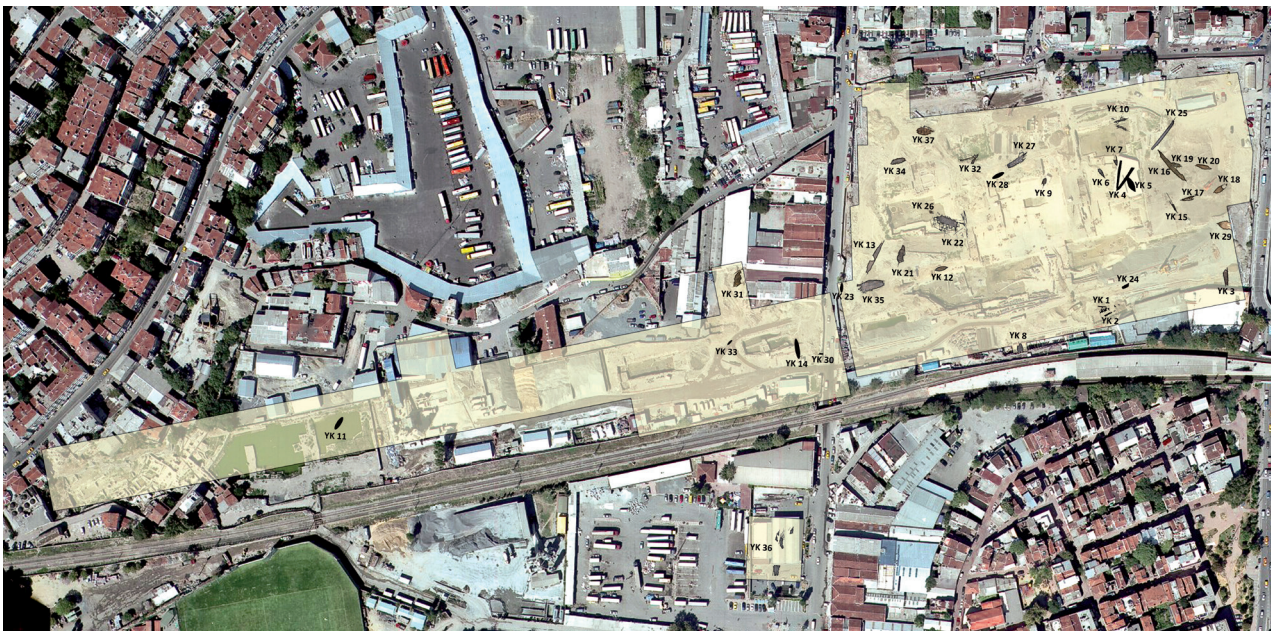


Figure 1. Location of shipwrecks in the Yenikapı excavation site. Photo: IU Yenikapı Shipwrecks Project Archive.

Many publications have been made during the ten years from the beginning of the studies (Kocabaş, 2012; Pulak, Ingram, Jones *et al.*, 2013; Akkemik, 2015; Kılıç, 2016; Güler, 2017; Jones, 2017; Ingram, 2018; Özsait-Kocabaş, 2018; Kılıç, 2020; Türkmenoğlu, 2021; Özsait-Kocabaş and Güler, 2023). Some of these are related to the removal and conservation of shipwreck timbers from the excavation area (Kocabaş and Türkmenoğlu, 2009; Kocabaş, Özsait-Kocabaş and Kılıç, 2012; Kocabaş and Özsait-Kocabaş, 2023). This publication aims to convey these issues in methodological order and to convey the experience and analysis gained in the discussion section.

2. Excavation and preventive conservation of shipwrecks

The Yenikapı excavations were carried out in a deposit 12 m deep, ranging from the late Ottoman period to the Neolithic period. Shipwrecks dated between the 5th and 11th century AD were found in three geological deposits. The original hull forms of most boats and ships and the condition of the timbers are well preserved. This exceptional situation of the shipwrecks was made possible by combining some favorable natural conditions. The Theodosian Harbor, washed by the fresh waters of Lycus, probably provided relative protection against damage by *Teredo navalis*. The investigations of the ships show that *Teredo* worm destruction has existed but at a lower rate than in other archaeological underwater excavations. This protection continued to a certain extent after sinking the boats and ships until they were covered with sediment.

It has been determined that most of the boats and ships on the site sank in a vast and sudden storm. Meanwhile, the sand removed from the sea floor deposited back and provided a rapid covering. Thus, the hulls of shipwrecks were preserved under a layer of sea sand and a thick layer of muddy sediment of the Lycus Stream.

The primary application of Istanbul University in the excavation area has been for preventive protection. Studies began with constructing a temporary tent consisting of a wooden framework and waterproof canvas cover to protect the vessel remains and the excavation team from outside conditions. An atomized water-spray system has been installed in this space to create a 100% relative humidity environment and keep the hull timbers wet for 24 hours. The water system was turned off regularly, and the shipwrecks were excavated carefully. Water and small hand tools were used for removing deposits.

Istanbul University has removed the remains of 27 merchantmen and of 4 galleys. These shipwrecks were found preserved in different sizes and conditions. Remains of merchant ships range between 5 and 12 m in length. Their hulls have different construction features and various wood species. The hull types consist of flat-floored or wine-glass-shaped. The merchantmen were classified into three groups based on their hull planking joints: vessels with mortise-and-tenon joinery, vessels with planking edge dowels, and vessels without edge fasteners (Kocabaş, 2015). The Yenikapı galleys are the first archaeological evidence of the oared longships used in the Byzantine navy. The galleys have construction features entirely distinguished from merchantmen by their length, slender hulls, thwarts for oarsmen, oar-ports, and the types of timber used. The galley remains are much longer than the other shipwrecks, between 19 and 22.50 m (Kocabaş and Özsait-Kocabaş, 2021).

3. Documentation

The fact that the hulls of shipwrecks are in their entirety and the wooden elements were preserved with their joins in their original places has increased the importance of in situ documentation. The hulls' volumetric integrity, the wooden elements' formal relations, and the clues about the design and construction were recorded systematically. Before the studies, the hull timbers were tagged, and broken and cracked wooden members were joined with the help of stainless steel staples. The hulls

were documented by manual three-point/3D Total Station® measurements and hand /AutoCAD® drawings. In addition, the inner surfaces of the planking were drawn on clear acetate at full-scale. Every timber of the wrecks was photographed both overall and in detail. Also, it was made photo-mosaics of each wreck. The hull timbers that emerged during removal were also documented similarly. Thanks to the drawings and photo-mosaics made in layers, it was possible to obtain in situ drawing sheets showing desired combinations of a shipwreck (Özsait-Kocabaş, 2012).

In the post-excavation documentation, timbers of the shipwrecks have been 3D recorded in full-scale. The measurements have taken with a 3D digitizer with contact probes (FaroArm®) and a 3D photogrammetric scanning device (Peel 2®) and have been used AutoCAD® and Rhinoceros® 4 software. Photographs have been taken, photo-mosaics have been made and cataloged after detailed analysis. The dating of timbers has been carried out at the Radiocarbon Accelerator Unit of Oxford University using the radiocarbon method. Around 2500 wood samples taken from the shipwrecks have been analyzed by Prof. Ünal Akkemik at Istanbul University's Forestry Faculty. Drawing, research, reconstruction, and conservation studies on the shipwrecks continue (Kocabaş, 2015; Akkemik, 2015).

4. Raising of shipwrecks

Following the completion of on-site recording, the timbers were raised using the procedures developed on-site. A few hull timbers of a shipwreck were removed in partial mass. It was decided to disassemble the timbers of all the other shipwrecks to reveal the joining details, identify building techniques and construction details, and facilitate the absorption of the necessary chemicals during the conservation process. Another reason for this practice was that the excavation area contains archaeological artifacts. In other words, heavy construction machinery could not carry the ships removed from the field. Dismantling within molds also proved helpful in the documentation of the timbers' original shape and their transportation to the laboratory. Physical contact was kept to a minimum during the ongoing work on the shipwrecks. In order to achieve this, different numbers of «bridges» were built on the shipwrecks, and unique skeletal systems were created to work on them when necessary (Figure 2).



Figure 2. Working on bridges at shipwreck YK3. Photo: IU Yenikapı Shipwrecks Project Archive.

4.1. Partial mass removal

The keel and six planks attached to the keel of the YK 6 were removed as a mass without separating them (Kocabaş and Özsait-Kocabaş, 2023, p. 1880). This was because it took a long time to remove the heavily degraded timbers of the wreck one by one from the excavation site. In this method, a construction made of wood and Styrofoam was conveniently placed under the shipwreck. Studies were started by digging around its existing remains, 1 m wide and 1 m deep. Then, starting from the forward side, the sand

underneath the hull was cleaned in 25 cm sections. The lower and upper forms of the opened part of the hull were copied in a 1:1 ratio with a large-scale profile comb and drawn on 5 cm thick, dense styrofoam. The bottom and top sections of the hull drawn on Styrofoam were carefully cut with the help of jigsaws. The prepared Styrofoam molds were placed under the hull planks and then fixed. Later, the inner side of the shipwreck was supported with Styrofoam molds prepared with the same methods (Figure 3). A wooden frame and diagonal braces were laid around the construction to increase the load-bearing structure. This way, the part of the shipwreck YK6 was removed as a mass.



Figure 3. Raising by the partial mass method of hull bottom of shipwreck YK6. Photo: IU Yenikapı Shipwrecks Project Archive.

In addition, the highly dispersed YK6's mast-step timber and floor timbers under it were removed as a bloc. After the nails connected to the other wooden elements were cut, a Styrofoam mold prepared according to their existing under shape was placed under the mast-step timber and floor timbers. The inside of the hull was filled with water, and the timbers were raised from their place with the help of the buoyancy of the water and the Styrofoam placed under it. Later, the Styrofoam structure was transferred onto the prepared wooden plate and placed in a prepared crate.

4.2. Removed by dismantling

Hull timbers lost their physical strength despite preserving their shape. Therefore, new raising methods were developed according to timbers' structural properties and existing conditions to preserve their integrity and shape. Dissassemblage started with the ceiling, stringers, and other internal timbers, then progressed with frames, planking, and keel timbers.

4.2.1. Removing of fasteners

The treenails and iron nails were holding the hull elements together despite being damaged. Most iron nails lost their metallic core but retained a certain degree of mechanical strength thanks to the deposited layer formed on the outside. In particular, different methods were used to separate iron nails, depending on the protection status of the timbers. The first of these was performed on well-preserved timbers. For example, iron nail corrosion was made self-break by slightly moving the frame timbers. Another method was applied to more-strength iron nail concretion. It was broke the concretion with the help of a light hammer by inserting a thin spatula between ship members. A third method was applied when the physical strength of the wood was weaker than the strength of the iron nail. In these cases, in order not to damage the archaeological timbers, the nail deposits were controlled cut with a sensitive work with a jigsaw blade between plastic sheets.

4.2.2. Raising of framing (floor timbers and futtocks)

Preserved status, shape, and dimensions of the frames were decisive in selecting the lifting method. In good condition, frame members were slowly and carefully manually lifted and placed on the custom-made wooden stretchers (Figure 4). After completing relevant documentation, the frames were placed into wooden chests or pallets built to their size. The double plate packing method was applied in frames with a high deterioration rate.



Figure 4. Transporting the large and heavy floor timber of YK22 with a stretcher. Photo: IU Yenikapı Shipwrecks Project Archive.

4.2.3. Raising of longitudinal timbers

Two main methods were used to remove well-preserved longitudinal wooden members: raising by internal and external supports. In addition, wooden stretchers were used for long and heavy pieces (Kocabaş and Yılmaz, 2012).

Most of the planks of YK6 were removed via the internal support method. The purpose of the internal support method was to preserve their original shape by copying the inner surface forms of the planks and creating their molds. In the process, the length and width slope of the pavement board to be removed were determined and drawn. Molds were prepared according to the internal shape and curve of each plank. Then these individual molds were placed inner surface of the planks. Planks and inner molds were fixed together by «U» profile Styrofoam clamps. It was successfully applied even on deeply curved planks with this method.

The external support method gave as good results as the other, and the application time was shorter and more manageable. For this reason, removing other longitudinal elements in the area was preferred, such as planks, ceilings, wales, and mast-step timbers by this technique. The method used L-shaped carriers and supporting plates prepared by the hull elements' size, shape, and existing preserved condition and placed from outside surfaces (Figure 5).



Figure 5. Raising by external support method. Photo: IU Yenikapı Shipwrecks Project Archive.

The keel timbers, which are long and heavy pieces, survived, often unable to bear their weight. For this reason, the keels were lifted from the area with wooden stretchers. The sand layer around and below the keel timbers was cleaned during the raising. Then, they were supported on one side with a wooden plate prepared according to their lengths and shapes and laid on the stretchers. They were lifted this way and placed in their crates with stretchers.

4.2.4. Removal of highly deteriorated timbers

Epoxy sheet and double plate packing methods were applied to damaged and fragile parts (Figure 6). Extremely thin ceiling timbers of YK 12, the frail floor timbers from plane trees of galleys, and some planks of merchant ships were removed by the epoxy sheet method (Kocabaş and Yılmaz, 2012; Kocabaş, Özsait-Kocabaş, and Kılıç, 2012).



Figure 6. Raising by double plate packing method of YK3's floor timber. Photo: IU Yenikapı Shipwrecks Project Archive.

In the epoxy sheet method, firstly, the timbers were covered with thin aluminum foil to protect them from the epoxy material. Then, the fast-curing Araldite® FC 52 (ABC) was prepared in appropriate proportions and spread on aluminum foil and then supported with fiber fabric. After 8-10 minutes, the freezing time, a thin skeleton was placed in the epoxy shirt, which took the form of timber. Epoxy carrier construction and wooden elements are fixed to each other by tying them with textile belts. This way, wooden elements forms could be removed from the hull, with a hundred percent preservation.

The double plate packing method lifted the highly deteriorated floor timbers of shipwreck YK 3 (Figure 7). During the technique, it was used aluminum foils and waterproof plywood sheets. The molds were prepared according to the shape of each frame to be removed. A thick aluminum foil was placed underneath the floor timber and supported with waterproof plywood molds on both sides. The foil was wrapped on these wood supports, and floor timber was raised.



Figure 7. Raising of YK12 ceiling with the epoxy sheet method. Photo: IU Yenikapı Shipwrecks Project Archive.

4.2.5. Crates

Each ship element, such as ceiling planks, floor timbers, futtocks, planks, and keel timbers removed by the carrier constructions, was placed in crates manufactured by their dimensions (Figure 8). Brass nails and galvanized screws were used in the joints of the crates, which are designed to be superimposed, 1 cm thick, 10-12 cm wide, and made of wooden material. In heavy hull timbers, the loadbearing has been increased by using thicker woods in the frame construction. Labels with the shipwreck's name and the hull timber's name and number were affixed on the crates. In order to prevent them from being affected by water movements in the pools where they will be kept, the support molds of the timbers are fixed in the crates with small wedges made of Styrofoam and wood, and they are tied with textile strips. After the dismantling and raising operations were completed, it was removed from the portable stairs in the trenches. As in the case of the YK3 shipwreck, large-sized heavy crates in 3-4 m deep trenches were removed with the pulley system. The timbers were preserved in the Istanbul University Yenikapı Shipwrecks Project Application and Research Laboratory freshwater tanks.



Figure 8. Wooden crates in the site. Photo: IU Yenikapı Shipwrecks Project Archive.

5. Conservation

5.1. Desalinization

Desalinate process of timbers was made in the storage tanks, and the water in the tanks was circulated and renewed with fresh water. In the first stage, the salinity of the pool water, measured as over 1000 ppm, was gradually reduced to 350-400 ppm with the periodic tap water change. The desalination process is completed in 7 to 8 months when the water is changed regularly in medium-sized tanks with a water capacity of 15-25 tons. However, in tanks where larger timbers are stored, the duration is prolonged with the increase in tank volume (Kılıç, 2017). Moreover, the process continued to 30-40 ppm with de-ionized water in the tanks containing the wood to be conserved with melamine formaldehyde. A significant problem encountered in the desalination and impregnation of organic artifacts in countries with a temperate climate, such as Turkey, was the activity of fungi and bacteria in submerged tanks. To inhibit biological activity during desalination, Acticide SPX (5-chloro-2-methyl-4-iso-thiazolin-3-one and 2-methyl-2H-isothiazol-3-one) liquid biocide was added to the tank at a ratio of 1/1000 (Kocabaş, Kılıç and Asal, 2020, p. 39).

5.2. Conservation treatment

Although Yenikapı shipwrecks were preserved under the mud and alluvion layer, the biological activity inevitably has caused different levels of degradation on the cell structure of their timbers for centuries. According to the deterioration condition of shipwreck timbers, two conservation methods have been used in the IU Yenikapı shipwrecks project: Polyethylene glycol (PEG) impregnation-vacuum freeze-drying and melamine formaldehyde (Kauramin® 800) (Kocabaş, Kılıç and Asal, 2020). Polyethylene glycol (PEG) impregnation has been preferred for shipwrecks in relatively better conditions and those likely to be exhibited in the future. Before PEG impregnation, iron

compounds in timbers must be cleaned to eliminate PEG's corrosive effect on metals and prevent post-drying iron sulfide oxidation in timber (Kılıç, 2020). For this, iron nails and corrosion in timbers are removed mechanically. In addition, iron compounds are removed by buffering with a 5% disodium EDTA (w/v) solution, and then the timbers are soaked in distilled water. PEG with different molecular weights of 400, 2000, 3350, and 4000 were determined according to the wood's density and maximum water content values. For example, impregnation begins at a 5% concentration to minimize the occurrence of osmotic collapse in wood using PEG 2000. Also, biocide is added at a ratio of one-one thousandth to eliminate any bacterial formation in the solution. The procedure was completed when the PEG concentration of the solution reached % 45. Impregnation time can vary between 2 and 4 years depending on the thickness and type of timbers (Kocabaş, Kılıç and Asal, 2020, p. 41; Kocabaş and Özsait-Kocabaş, 2023, p. 1881). Following the PEG impregnation procedure, a vacuum freeze-drier performs the dehydration process. The procedure that takes place according to the sublimation principle; consists of freezing, freeze-drying, and returning the wood to ambient conditions. Istanbul University produced two freeze dryers for this purpose. Thanks to these devices, which are 2.50 m in length, 90 cm in diameter, and 8.50 m in length, 2.10 m in diameter product chamber, the conservation of wooden elements of various sizes can be done as a whole.

Melamine formaldehyde (Kauramin® 800) is preferred for highly deteriorated, non-durable waterlogged timbers such as plane tree (Kılıç, 2016; Kılıç, 2017; Kocabaş, Kılıç and Asal, 2020, p. 46). Low molecular weight (400-700g/mol) melamine formaldehyde prepolymer is dissolved in 25% concentration in deionized water. In addition10% butanediol or triethylene glycol based on melamine formaldehyde was added to the solution for a flexible structure for the wood. % 0.5 triethanolamine based on melamine formaldehyde was added to the solution to extend the curing time of the solution (12-14 months). 5% urea based on melamine formaldehyde was added to the solution to reduce the viscosity of the solution. Urea also binds free formaldehyde and reduce health hazard. The timbers have been placed in the solution. The boxes have been covered and sealed with plastic foils. Impregnation time differs in the thickness and species of the wood. Monitoring and pH measurements of the solution are vital in this stage. If the pH drops to values 7-6, polymerization starts soon. When the melamine resin was cured, impregnated samples were removed from the solution and wrapped in wet paper. Polycondensation of melamine formaldehyde is carried out at a temperature of 50-55°C, and two different sizes of furnaces are used for this process in Yenikapı. These are a Memmert incubator oven for small-sized timbers and a 10 m purpose-built oven for longer timbers. The duration of the firing process varies according to the thickness of the timbers and is completed in approximately 9-14 days.

5.3. Storage after conservation

Conservation of 70% of Yenikapı shipwrecks has been completed or is in progress. Following conserving shipwreck timbers, climate-controlled storage areas and a museum are needed. To date, any museum building or storage area has been built by Istanbul Archaeological Museums, the General Directorate of Monuments and Museums, and Istanbul Metropolitan Municipality, the project's authorities. The treatment timbers of shipwrecks were stored in three 3×7 m containers of the IU Yenikapı Shipwrecks Project. In addition, a temporary storage unit of 300 square meters was built in 2022, but the shelf system and air conditioning are still waiting. The storage environment has been kept at optimum values suitable for two conservation chemicals (PEG® and Kauramin®). Timbers have been protected in a warehouse environment with an average relative humidity of 50-55% and a temperature of 18-20°C. Temperature, relative humidity, and pH controls are carried out regularly in the storage area (Kılıç, 2020, p. 140).

It is essential to store the hull timber in their molds or to make suitable fixings in order not to deteriorate their original shape during the time from the freeze-drying process to display. When

the expected time in storage after conservation is prolonged, the possibility of shrinkage in form or deterioration in contours should be considered. So that it is eliminated this disadvantage considering the high number of shipwrecks, it has been decided to stop the vacuum freeze-drying of PEG-impregnated wooden elements until a museum building is built or until the exhibition stage and the woods are kept in impregnation tanks. It is known that staying wood in the PEG solution for a long time does not constitute a negative situation in terms of impregnation. In this way, it is foreseen that the risks of long-term storage after conservation can be prevented.

6. Discussion and Conclusions

6.1. Excavation site

In an underwater excavation, shipwreck documentation lasts through all excavation seasons. It is not always possible to see the entire hull remain together during documentation. The way the hull spreads on the seabed can create many problems. On sloping land, wooden pieces may be scattered over a wide area, covered with sand, or buried deeper. In this case, as hull elements under the sediments are uncovered, they can be added to the site map. Similarly, these factors can also affect the removal system of hull timbers. A shipwreck excavation in the wetland has more favorable conditions. Archaeologists can study for hours without special equipment. Usually, a shipwreck is completely uncovered in one excavation season; documentation begins when the entire shipwreck hull is exposed. This is a great advantage for all work on the wreck. However, sunlight, temperature, and the sudden environmental change for the uncovered artifacts are significant disadvantages. A rapid deterioration occurs at the archaeological timbers that came out of the undersoil into the atmosphere. Sometimes even their exposure for 10 minutes under normal atmospheric conditions can cause irreversible deterioration. For this reason, they should be kept constantly wet and not exposed to direct sunlight, and measures for this need to be planned before excavation (Jenssen and Pearson, 1987).

The Yenikapı excavations started in 2004 and continued for nine years, and scientific studies on the shipwrecks have continued uninterruptedly until today. The Yenikapı shipwrecks were excavated inside a harbor wetland. Boat and ship remains dated between the 5th and 11th centuries AD were discovered in the 58 thousand square meters excavation area. With the advantage of excavation in a wetland, the top of the shipwrecks was completely opened before the documentation started, and the removal procedure could be carried out together with the documentation.

Yenikapı shipwrecks constitute the largest shipwreck group dating to the Byzantine period among the excavated shipwreck sites in the world. In addition, their hulls have survived to the present day in a remarkably well-preserved condition. The scientific studies carried out, the climatic conditions in the summer-winter excavation, the width of the site, and the studies tested with the excess number of shipwrecks were carried out within the measures to prevent the deterioration of waterlogged wood. The hull timbers were removed with solutions that would preserve their form to achieve the correct result at the restoration and reconstruction stages after the conservation. Because it is a salvage excavation, the projected completion date of the works has guided the field studies.

6.2. Removal method, conservation, and exhibition

The methods used to remove shipwrecks and the conservation approach are closely related. Raising techniques from the excavation site vary according to the excavation conditions and possibilities and the preservation conditions of the hull timbers. Mass removal for the hulls that survived their integrity may be preferred in excavations with funding but limited time. However, this decision depends on the excavation possibilities, the capacity of the laboratory and storage facilities, the

planned conservation method, and the size of the conservation devices. As with the Vasa and Mary Rose ships, huge and well-preserved wrecks can be removed as a single mass. The Swedish warship Vasa, 95% preserved, and the British warship Mary Rose, with the existing keel 32 m and the entire starboard side in well-preserved condition, were removed in single mass (Hocker, 2020; Rule, 1982). In contrast, river vessel Arles-Rhŏne 3, 31 m long, well-preserved, on the banks of the Rhine in France, was cut and removed in 10 pieces (Marlier and Bernard-Maugiron, 2020).

Dismantling is a preferred method for detailed in-situ documentation as well as excavation conditions and conservation possibilities. Many shipwrecks, such as the Kyrenia, Serçe Limanı, Yenikapı, and Skuldelev shipwrecks, were dismantled and removed from underwater and wetlands (Olsen, 2002; Bass and van Doorninck, 2004; Katzev, 2005; Kocabaş, 2012).

Various methods are applied to conserve the shipwrecks that were removed in mass. The Vasa ship is a characteristic example of large-scale, complex, and costly applications. Its 69 m long, 11.70 m wide, and 19.4 m high body was conserved by PEG spraying and controlled drying. Since iron fasteners and components are included in shipwreck hulls, which are removed as a single mass, the sulfur problem will occur in timbers, in conservation with PEG must be considered (Hocker, 2020).

Mainz shipwrecks were removed as a single mass and conserved by the melamine formaldehyde (Kauramin®) (Pferdehirt, 2002; Hoffmann and Witköpper, 1999). In the Arles-Rhŏne 3 shipwreck, impregnation with 35% PEG followed by freeze-drying was applied for each of the ten hull parts (Marlier and Bernard-Maugiron, 2020). Cutting this shipwreck into pieces was due to the concern of fitting it in the freeze-drying device. In comparison, partial mass removal at YK6 in Yenikapı excavations aimed to maintain the integrity of the damaged hull elements. The YK6 timbers were removed in the laboratory and included in the PEG impregnation-vacuum freeze-drying conservation procedure.

The conservation process can be managed more easily thanks to the relatively minor dimensions of the hull timbers, which are removed by dismantling. However, as in the Yenikapı Shipwrecks Project, many ship timbers assets require a well-planned conservation process. This planning should include post-conservation. Identifying the shipwrecks to be exhibited and stored in advance is essential, as the reassembly and the envisaged display method will change the workflow in conservation applications.

The melamine formaldehyde method is not suitable for performing. This method can be used to exhibit the hull elements in the forms at the excavation area or to preserve them in the museum storage. A typical example of this practice is the Mainz shipwrecks, displayed on Styrofoam supports as they are unformed (Marlier and Bernard-Maugiron, 2020). For exhibits based on reconstructions of shipwrecks, the conservation of timbers with PEG is preferred. The Kyrenia and the Roskilde 6 shipwrecks are two essential examples on exhibition and preserved by PEG absorption. Kyrenia shipwreck, the original length of 14 m and 75% of the hull preserved, was removed by dismantling its timbers from underwater. Hull timbers were conservated by PEG full impregnation and controlled drying. The timbers of the shipwreck were heated during reassembly and shaped according to the reconstruction of the ship (Katzev, 1981, p. 317; Steffy, 1994, p. 43). Roskilde 6 was discovered at 25% preserved. Hull timbers were dismantled and conserved with 40% PEG 2000 pre-impregnation and vacuum freeze drying. A detailed reconstruction of the shipwreck was studied before freeze-drying; after the woods were impregnated with PEG, they were shaped according to their original shape, fixed in their correct positions, and taken to the freeze-drying procedure (Gøthche and Strætkvern, 2017, p. 376; Petersen and Strætkvern, 2020, p. 60).

The preservation conditions of Yenikapı shipwrecks, the number of existing ship elements, their structural features, chemical and biological deterioration of their wood, and removal techniques

vary. These parameters were decisive in the decisions and methods followed in the post-excavation studies. In most Yenikapı shipwrecks, PEG (Polyethylene glycol) pre-impregnation is followed by vacuum freeze drying. In addition, the melamine formaldehyde (Kauramin®) method is used in the conservation of highly deteriorated wood that requires immediate intervention. Since the long planks of many of the Yenikapı shipwrecks have survived to the present day by preserving their shape and dimensions, it would be a correct approach to exhibit them according to their original hull form and shape them during drying. However, deterioration analyses show that some shipwreck timbers cannot wait for a long process, such as reconstruction work and preparation of forming molds. Plannings are made about which Shipwrecks will be shaped and exhibited according to the reconstructions before or after drying, which ones will be reassembled according to the original form without shaping, or which ones will be kept in the storages.

6.3. PEG or melamine formaldehyde

PEG is recyclable, water-soluble, and can be used for large-dimension timbers. It is a chemical suitable for freeze-drying. The color of the treated timbers with PEG is close to the original ton when used freeze drying. PEG-treated timbers have lower shrinkage and bending rates after conservation and can shape before and after drying. However, the use of iron has a corrosive effect on PEG. When iron combines with the sulfate in the wood's structure and the high relative humidity in the environment, reactions that cause acidity, salt precipitation, and risk of deterioration develop in waterlogged wood (Kılıç, Kılıç and Akgün, 2021). Also, timbers treated with PEG, a hygroscopic chemical, can become heavier by absorbing atmospheric moisture. In addition, ultraviolet radiation and high light intensity cause degradation in PEG. High ambient temperatures can cause softening of treated timber, separation of bonded surfaces, and degradation of PEG (Hocker, 2010; Jenssen and Pearson, 1987).

The melamine formaldehyde method is irreversible, and the curing time is unstable. During drying, crack formation, loss of elasticity, loss of texture, excessive discoloration, and whitening are observed in woods treated with melamine formaldehyde. In addition, this method cannot be applied to slightly deteriorated timbers. Timbers treated with melamine formaldehyde become too light (Kılıç, 2017; Hoffmann and Witköpper, 1999). Evaporation of formaldehyde which is highly harmful to human health, poses a threat to conservators, museum workers, and visitors. However, thanks to the urea added to the formula, the unhealthy effects of formaldehyde can be reduced. Melamine formaldehyde has more tolerant than PEG regarding relative humidity, temperature, and light values. The weight loss of wood can provide convenience in display and storage. Because it does not interact, iron components in timbers do not need to clean (Kılıç and Kılıç, 2019). The relative cheapness of the chemical and minimal size changes in timbers are also positive features. Impregnation and drying procedure are completed in a short period of 3-14 months, depending on the thickness of the wood. On the other hand, the dried artifacts must be held wrapped in an air-tight folio for approximately one year. It can treat with melamine formaldehyde the highly deteriorated, dispersed, and fractured timbers that cannot be saved by other methods.

6.4. Dismantling

Yenikapı shipwrecks were removed by dismantling, except for partial mass raising (YK6) applied to a shipwreck. Thanks to the dismantling, the fasteners, scarfs, joints, and forms of the hull timbers, which cannot be seen due to the upper elements, were photographed, measured, and drawn. Because the upper elements were dismantled, the in situ relations of the elements in the lower part with each other could be documented. *In situ* recordings were made in layers. Furthermore, dismantling and taking hull elements into molds, one by one, facilitated their transport to the laboratory. Dismantling and removal were carried out with methods developed according to the timbers' formal properties and preservation degrees.

The timbers that have become significantly deteriorated, thinned, and unable to support themselves have been removed with the epoxy sheet method, preserving their form. Despite its high cost and the need for skilled personnel, this method has been determined to provide excellent protection for removing sensitive wood. The double plate packing method used to remove damaged frames was a practical application, and the timbers could be easily removed readily. The wooden stretcher method also raised heavy and long items such as keel timbers and longitudinal timbers in a short time. It has been experienced that the «internal support method» requires more labor and time than the «external support method» in raising studies, and it is more practical to support from the outer surface. Most of the longitudinal hull timbers in the site were removed with the external support method. With this method, even the very long planks of the galleys were easily raised and transported while retaining their shape.

6.5. Sustainability

The laboratory work of the IU team started with the YK6 shipwreck in 2006. In the seventeen years since this date, the difficulties brought by the process and the results of the first applications have emerged. In the IU Yenikapı Shipwrecks Project Application and Research Laboratory, continuous studies are carried out for the documentation, analysis, desalination, cleaning, impregnation, and drying of the numerous timbers of 31 shipwrecks of various sizes and features. The scientific studies are blended with the struggles for the security of the region, financing of the works, maintenance of the existing devices, and the sustainability of the facilities beyond the intensive workforce. The most challenging is the time factor that works against the protection of treatment or non-treatment timbers in the tanks. After the conservation process, there is a need for climate-controlled storage areas for ship timbers, a museum for reassembled ships, and a display of shipwrecks. As the post-conservation storage problem is not resolved, workflow disruption is inevitable. For example, the freeze-drying procedure of the timbers was stopped, and the timbers were kept in the impregnation tanks against the decrease in the storage area or the prolongation of the time the shipwrecks were to be taken into the museum warehouses. After the first five years, the wooden supports and crates carrying the hull elements started to get heavy by absorbing water, loosening at the joints, and corroding the fasteners. For this reason, regular checks and repairs on wooden crates have been increased. In addition, the pool water is regularly analyzed regarding acidity and biological activation, and biocides are added when necessary. Structural conditions are checked by taking samples from ship timbers. This situation and additional precautions caused the need for extra labor, time, and chemical use. Therefore, it increased the operating costs.

This picture, which we have encountered in the post-excavation studies of the Yenikapı shipwrecks, reveals how important it is to develop projects that provide financial resources, to state support, sponsors, and volunteers, especially for the continuation of comprehensive and long-term conservation works. It reveals the importance of pre-designing and constructing structures such as well-equipped warehouses and museums to be preserved after and during the conservation of archaeological artifacts.

Acknowledgments

The authors would like to thank Istanbul Archaeology Museums Directorate, the director Rahmi Asal and museum archaeologists, to IU Yenikapı Shipwrecks Project team, to Istanbul Metropolitan Municipality, DLH Marmaray Directorate for their kind support and contribution to this Project. This research has been funded by Istanbul University Scientific Research Projects Coordination Unit, project number SBA-2022-39203.

We express our sincere gratitude to TINA, Turkish Foundation for Underwater Archaeology and Mr. Oğuz Aydemir for their invaluable contributions to the Yenikapı Shipwrecks Project and the revival of our Freeze Drying device.

References

Akkemik, Ü. (2015). *Woods of Yenikapı Shipwrecks, Yenikapı Shipwrecks* (1st ed.). Ege Yayınları.

Asal, R. (2007). Commerce in Istanbul and the Port of Theodosius. In A. Karamani-Pekin and S. Kangal (Eds.), *Istanbul: 8000 Years, Brought to Daylight, Marmaray, Metro and Sultanahmet Excavations* (pp. 180-189). Vehbi Koç Foundation.

Bass, G. F.and van Doorninck, F. H., Jr. (2004). Discovery, Excavation and Conservation. In G. F. Bass, S. Matthews, J. R. Steffy and van Doorninck, F. H., Jr. (Eds.), *Serçe Limanı, An Eleventh-Century Shipwreck: The Ship and Its Anchorage, Crew and Passengers* (pp. 53-70). Texas A&M University Press.

Gøthche, M.and Strætkvern, K. (2017). The Roskilde 6 Ship (Denmark). Reconstructing the Longest Warship Find of the Viking Age. In J. Gawronski, A. van Holk and J. Schokkenbroek (Eds.), *Ships and Maritime Landscapes. Proceeding of the 13th Symposium on Boat and Ship Archaeology* (pp. 394-397). Barkhuis Publishing.

Güler, T. (2017). Construction Technique of the Yenikapı 20 Shipwreck, Found in the Harbour of Theodosius (Istanbul, Turkey). In J. Gawronski, A. van Holk and J. Schokkenbroek (Eds.), *Ships and Maritime Landscapes: Proceeding of the 13th International Symposium on Boat and Ship Archaeology* (pp. 280-282). Barkhuis. https://doi.org/10.2307/j.ctt20p56b6.

Hocker, E. (2010). Maintaining a Stable Environment: Vasa's New Climate-Control System. *APT Bulletin Journal of Preservation Technology* 41, 3-9. https://www.vasamuseet.se/globalassets/vasamuseet/dokument/utforska/t_new-climate-control-systempdf.pdf

Hocker, E. (2020). Towards Chemical and Physical Stability: A Summary of the Preservation and Research on the Swedish Warship, Vasa. In M. Bezdan and U. Kocabaş (Eds.), *Tina Maritime Archaeology Periodical* (vol. 13, pp. 14-47). Bilnet Matbaacılık ve Yayıncılık.

Hoffmann, P.and Wittköpper, M. (1999). The Kauramin Method for Stabilizing Waterlogged Wood. In C. Bonnot-Dicconne, X. Hiron and P. Hoffmann (Eds.), *Proceedings of the 7th ICOM-CC Working Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Grenoble* (pp. 163-166). ARC-Nucléart.

Ingram, R. (2018). The Hull of Yenikapi Shipwreck YK 11: A 7th-Century Merchant Vessel from Constantinople's Theodosian Harbour. *International Journal of Nautical Archaeology,* 47, 103-139. https://doi.org/10.1111/1095-9270.12293

Jenssen, V.and Pearson, C. (1987). Environmental Considerations for Storage and Display of Marine Finds. In C. Pearson (Ed.), *Conservation of Marine Archaeological Objects* (pp. 268-270). Butterworth.

Jones, M. R. (2017). The Hull Construction of Yenikapı 14 (YK 14), A Middle Byzantine Shipwreck from Constantinople's Theodosian Harbour, Istanbul, Turkey. *International Journal of Nautical Archaeology*, 46, 253-283. https://doi.org/10.1111/1095-9270.12266

Katzev, M. (1981). The Reconstruction of the Kyrenia Ship 1972-1975. *National Geographic Society Research Reports,* 13, 315-328.

Katzev, S. W. (2005). Resurrecting an Ancient Greek Ship: Kyrenia, Cyprus. In G. F. Bass (Ed.), *Beneath the Seven Seas (*pp. 72-79). Thames & Hudson Ltd.

Kiliç, A. G. (2020). Sulfur Problem in the Conservation of Waterlogged Wood. In M. Bezdan and U. Kocabaş (Eds.), *Tina Maritime Archaeology Periodical* (vol. 13, pp. 133-146). Bilnet Matbaacılık ve Yayıncılık.

Kiliç, A. G., Kiliç, N.and Akgün, C. (2021). The Importance of Using Multiple Analyses Techniques to Determine the Physical Condition of the Waterlogged Wood Near the Corroded Parts. *Wood Research,* 66, 1046-1054. https://doi.org/10.37763/wr.1336-4561/66.6.10461054.

Kiliç, N. (2016). Conservation of a Group of Frames from YK 16 Shipwreck. *Art-Sanat,* 6, 85-97. https://dergipark.org.tr/en/pub/iuarts/issue/24947/263338

Kiliç, N. (2017). *Yenikapı Batıklarının Korunmasında Polietilen Glikol Ön Emdirmesi-Vakumlu Dondurarak Kurutma Yönteminin Değerlendirilmesi* [Unpublished doctoral thesis]. Istanbul University.

Kiliç, N.and Kiliç, A. G. (2019). An Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR) Spectroscopic Study of Waterlogged Woods Treated with Melamine Formaldehyde. *Vibrational Spectroscopy*, 105, 102985. https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2019.102985

Kiziltan, Z. (2010). Excavations at Yenikapı, Sirkeci and Üsküdar within Marmaray and Metro Projects. In U. Kocabaş (Ed.), *Istanbul Archaeological Museums, Proceedings of the 1st Symposium on Marmaray-Metro Salvage Excavations* (pp. 1-16). Epsilon.

Kocabaş, U. (Ed.) (2012). *The 'Old Ships' of the 'New Gate' 1, Yenikapı Shipwrecks* (2nd ed., vol. 1). Ege Yayınları.

Kocabaş, U. (2015). The Yenikapı Byzantine-Era Shipwrecks, Istanbul, Turkey: A Preliminary Report and Inventory of the 27 Wrecks Studied by Istanbul University. *International Journal of Nautical Archaeology*, 44, 5-38. https://doi.org/10.1111/1095-9270.12084.

Kocabaş, U.and Türkmenoğlu, E. (2009). Yenikapı Shipwrecks: Fieldwork, Conservation-Restoration Procedures and Construction Features. In X. Nieto (Ed.), *Argueologia Nautica Mediterrania* (pp. 235-243). Museu d'Arqueologia de Catalunya.

Kocabaş, U.and Yilmaz, R. (2012). Dismantling of the Vessel Members. In U. Kocabaş (Ed.), *The 'Old Ships' of the 'New Gate' 1, Yenikapı Shipwrecks*, (2nd ed., vol. 1, pp. 73-95). Ege Yayınları.

Kocabaş, U.and Özsait-Kocabaş, I. (2021). Hull Characteristics of the Galley Yenikapı 16. In G. Boetto, P. Pomey and P. Poveda (Eds.), *Open Sea, Closed Sea, Local Traditions and Inter-Regional Traditions in Shipbuilding, Proceedings of the 15th Symposium on Boat and Ship Archaeology, Marseilles* (pp. 79-82). CNRS.

Kocabaş, U.and Özsait-Kocabaş, I. (2023). Comparative Analysis of Lifting from On-Site and Conservation of the Yenikapı Shipwrecks. *Heritage*, 6, 1871-1890. https://doi.org/10.3390/heritage6020100

Kocabaş, U., Özsait-Kocabaş, I.and Kiliç, N. (2012). The Yenikapı Shipwrecks: Dismantling Methods and First Step to Conservation. In K. Strætkvern and E. Williams (Eds.), *Proceedings of the 11th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Greenville* (pp. 303-312). ICOM Committee for Conservation.

Kocabaş, U., Kiliç, N.and Asal, R. (2020). Keeping the Past Alive: The Yenikapı Shipwrecks. In M. Bezdan and U. Kocabaş (Eds.), *Tina Maritime Archaeology Periodical* (vol. 14, pp. 14-55). Bilnet Matbaacılık ve Yayıncılık.

Marlier, S.and Bernard-Maugiron, H. (2020). The Arles-Rhône 3 Barge, from the River to the Museum. In M. Bezdan and U. Kocabaş (Eds.), *Tina Maritime Archaeology Periodical* (vol. 14, pp. 56-85). Bilnet Matbaacılık ve Yayıncılık.

Olsen, O. (2002). The Excavation and Raising of the Ships 1962. In O. Crumlin-Pedersen and O. Olsen (Eds.), *Ships and Boats of the North, The Skuldelev Ships I* (vol. 4.1, pp. 30-48). The Viking Ship Museum.

Özsait-Kocabaş, I. (2012). Documentation: Reading the Timber. In U. Kocabaş (Ed.), *The 'Old Ships' of the 'New Gate' 1, Yenikapı Shipwrecks* (2nd ed., vol. 1, pp. 27–72). Ege Yayınları.

Özsait-Kocabaş, I. (2018). The Yenikapı 12 Shipwreck, a 9th-Century Merchantman from the Theodosian Harbour in Istanbul, Turkey: Construction and Reconstruction. *International Journal of Nautical Archaeology*, 47, 357-390. https://doi.org/10.1111/1095-9270.12325

Özsait-Kocabaş, I.and Güler, T. (2023). Characteristic Features and Construction Technique of Shipwreck Yenikapı 20. *Art-Sanat*, 20, 311-328. https://doi.org/ 10.26650/artsanat.2023.20.1213527

Petersen, A. H.and Strætkvern, K. (2020). Standing On the Shoulders of Our Predecessors-A Base and a Viewpoint. Fifty Years of Working with Conservation of Waterlogged Archaeological Shipwrecks in Denmark. In M. Bezdan and U. Kocabaş (Eds.), *Tina Maritime Archaeology Periodical* (vol. 13, pp. 48-70). Bilnet Matbaacılık ve Yayıncılık.

Pferdehirt, B. (2002), Das Schiff Mainz 1-5. In A. Mess and B. Pferdehirt (Eds.), *Römerzeitliche Schiffsfunde in der Datenbank Navis I* (pp. 66-99). Verlag des Römisch-Germanischen Zentralmuseums.

Pulak, C., Ingram, R., Jones, M.and Matthews, S. (2013). The Shipwrecks of Yenikapı and Their Contribution to the Study of Ship Construction. In Z. Kızıltan and G. Baran-Çelik (Eds.), *Stories from the Hidden Harbor: The Shipwrecks of Yenikapı* (pp. 22-34). Istanbul Archaeological Museum Press.

Pulak, C., Ingram, R.and Jones, M. (2015). Eight Byzantine Shipwrecks from the Theodosian Harbour Excavations at Yenikapı in Istanbul, Turkey: An Introduction. *International Journal of Nautical Archaeology*, 44, 39-73. https://doi.org/10.1111/1095-9270.12083

Rule, M. (1982). *Mary Rose: The Excavation and Raising of Henry VIII's Flagship* (1st ed.). Conway Maritime Press.

Steffy, J. R. (1994). *Wooden Shipbuilding and the Interpretation of Shipwrecks*. Texas A&M University Press.

Türkmenoğlu, E. (2021). Yenikapi 27 Shipwreck: Hull Members, Construction Technique and Structural Features. *Art-Sanat*, 16, 557-574. https://doi.org/10.26650/artsanat.2021.16.0019

PROYECTOS ESPAÑOLES

SPANISH PROJECTS

Moldeo subacuático y extracción del barco *Mazarrón 1*

Luis Carlos Zambrano Valdivia
Conservador-restaurador
Museo de Cádiz. Junta de Andalucía

Resumen: El 30 de junio de 1995 concluyó la extracción y traslado del pecio *Mazarrón 1* desde el yacimiento arqueológico Playa de la Isla de Mazarrón hasta el laboratorio de conservación del CNIAS-MNAM en Cartagena (Murcia). Esta compleja operación fue posible gracias a una metodología inédita de moldeo subacuático que permitió la fabricación *in situ* de soportes mixtos de silicona y poliéster sobre la estructura arqueológica de madera sumergida del *Mazarrón 1*, con unas dimensiones máximas de 5,5 por 1,3 metros, la quilla y parte de la tablazón de un costado permanecían depositadas sobre el lecho sedimentario a una profundidad de 3 metros. La estructura remanente de piezas ensambladas por lengüetas y pasadores, preservada por el enterramiento, ofrecía formas completas con poca pérdida de materia pero con numerosas fisuras y dislocaciones. El nivel de degradación celular de la madera saturada de agua hacía imposible su movilización en bloque por métodos convencionales de izado sin provocar el colapso de la estructura. El encargo de diseñar un sistema de moldeo *in situ* para efectuar la extracción fue cumplido conforme a los requisitos de conservación exigidos para garantizar el máximo de integridad estructural del *Mazarrón 1*.

Palabras clave: *Mazarrón 1*, madera arqueológica sumergida, molde subacuático, elastómero de silicona, resina de poliéster.

Abstract: On June 30, 1995, the extraction and transfer of the *Mazarrón 1* wreck was carried out from the archaeological site Playa de la Isla de Mazarrón to the CNIAS-MNAM conservation laboratory in Cartagena (Murcia). This complex operation was possible thanks to an unprecedented underwater molding methodology that allowed for the *in situ* manufacture of mixed supports of silicone and polyester on submerged wooden archaeological structures of *Mazarrón 1*, with maximum dimensions of 5.5 by 1.3 meters, the keel and part of the planking on one side remained deposited on the sedimentary bed at a depth of 3 meters. The remaining structure of pieces assembled by tongues and pins, presented by the burial, offered complete forms with little loss of material but with numerous cracks and dislocations. The level of cellular degradation of the water-saturated wood made it impossible the block mobilization using conventional lifting methods without causing the collapse of the structure. The commission to design an in situ molding system to carry out the extraction was fulfilled in accordance with the conservation requirements demanded to guarantee the maximum structural integrity of *Mazarrón 1*.

Keywords: *Mazarrón 1*, underwater archaeological wood, underwater molding, silicone elastomer, polyester resin.

Introducción

En este artículo se detalla la extracción mediante moldeo subacuático del primer barco fenicio de Mazarrón en 1995, así como el proceso de ensayos y estudios que condujeron a dicho resultado. El desarrollo de los acontecimientos se inicia con el hallazgo de una estructura de madera durante el

proceso de control para verificar la pérdida de arena en el yacimiento subacuático Playa de la Isla, descubierto en 1988 por el Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Subacuáticas (CNIAS) con sede en Cartagena. Ante el riesgo inminente de expolio por parte de buceadores se procede en julio de 1991 a la cubrición de los restos visibles de la estructura de madera, adicionalmente se realizan una serie de sondeos arqueológicos en la zona adyacente (Cabrera, Pinedo, Roldán *et al.*, 1997). El resultado de esta campaña plantea una hipótesis muy consistente acerca de la posible adscripción fenicia de dicha estructura náutica en un contexto de material cerámico con importante presencia de ánforas R-1. En 1994, ya dentro del denominado Proyecto Nave Fenicia, se realiza un sondeo sobre los restos de madera para comprobar su estado de conservación y documentar nuevos detalles constructivos. Desde el inicio del proyecto arqueológico por parte del CNIAS en 1993, la intervención del barco se integraba en una actuación global y extensiva sobre el yacimiento de la Playa de la Isla (Arellano, Barba, Gómez *et al.*, 1999). La problemática de conservar adecuadamente todo el volumen de objetos asociados a la excavación motivó a la dirección científica para contar con el apoyo de un conservador-restaurador subacuático durante todo el proyecto. Dicha encomienda recae en quien suscribe; un conservador de arqueología subacuática formado en el seno del propio CNIAS y vinculado profesionalmente a dicha institución mediante diversos proyectos arqueológicos encadenados desde 1991.

Las tareas desempeñadas en el transcurso de las sucesivas campañas arqueológicas de 1993, 1994 y 1995 dentro del Proyecto Nave Fenicia comprendieron medidas de conservación preventiva y activa del extraordinario volumen de objetos recuperados en las prospecciones y sondeos submarinos. De forma simultánea a estas acciones se comenzó, a instancias de la dirección científica del proyecto, el estudio de alternativas para la conservación de los restos de la embarcación protegidos *in situ* desde 1991. En este sentido, la realización de un molde subacuático, a semejanza del realizado sobre el ballenero vasco de Red Bay en 1984, fue la opción mejor valorada durante la mayor parte del proyecto hasta que se inician los trabajos de excavación y registro submarino. La posibilidad de obtener una réplica tridimensional para el estudio y la exposición museística, evitando los perjuicios de un largo tratamiento, fueron razones de peso para elegir esta solución. Así pues, la investigación con diferentes elastómeros y resinas de fraguado subacuático comenzó a desarrollarse con el objetivo de obtener un negativo fidedigno de la cara interna de los restos conservados. Tras numerosos ensayos con distintos materiales aplicados en simulaciones de moldeo subacuático, tanto en laboratorio como en el yacimiento submarino, se perfeccionó un sistema de molde y contramolde modular y escalable a cualquier tamaño de objeto o estructura sumergida. Los materiales empleados fueron la silicona bicomponente RTV con aditivo tixotrópico para el molde flexible y la resina de poliéster con sílice pirogenada para el contramolde rígido. Este sistema ofreció un excelente registro de detalle completado por un sólido mantenimiento de las formas generales. El molde subacuático fabricado de esta manera sobre los restos sumergidos conformó un estratificado de tres niveles compuesto en orden descendente por: 1) el contramolde rígido, 2) el molde flexible y 3) el objeto arqueológico. Con este método, llegado el momento de la extracción, el bloqueo del objeto arqueológico en el interior del sistema de moldeo brindó una sujeción suficientemente efectiva para realizar el volteo de 180º a toda la estructura, permitiendo su depósito en posición horizontal invertida dentro de tanques de acero preparados con argollas de izado. Protegidos en el interior de sendos recipientes, los dos módulos de extracción fueron inicialmente desplazados con globos y tracción de una embarcación neumática hasta el Puerto Deportivo de la Playa de la Isla, donde una grúa fija levantó ambas cajas para ser depositadas sobre el transporte rodado especial que las llevaría hasta los laboratorios del CNIAS en Cartagena. A continuación se describe lo esencial respecto a la investigación bibliográfica y experimental previa, así como el diseño y la ejecución del sistema de moldeo subacuático que sirvió para la extracción del barco *Mazarrón 1*.

Investigación y ensayos previos de moldeo subacuático

La investigación para encontrar un método efectivo de moldeo subacuático comienza con el análisis de las experiencias previas de otros conservadores subacuáticos ante problemas similares. En este

sentido, el principal referente son los ensayos para obtención de moldes subacuáticos de Murdock y Daley, conservadores del Wet Sites Conservation Laboratory de Parks Canada. Estos conservadores, que son los precursores de la técnica del moldeo subacuático, emplearon sistemáticamente un elastómero de polisulfuro para el moldeo subacuático (Murdock y Daley, 1981). Este producto es un caucho comercial bicomponente, el FMC-301® de SMOOTH-ON INC., polimerizable en presencia de humedad y de uso muy extendido para aplicaciones diversas en Estados Unidos y Canadá. En experimentación de laboratorio, los citados conservadores de Parks Canada emplearon el elastómero en forma fluida aplicándolo en colada sobre modelos de tamaño reducido y planteando el moldeo de volúmenes exentos y espacios huecos (Murdock y Daley, 1982). La calidad de las reproducciones fue satisfactoria, pero el sistema carecía de control directo sobre el modo de aplicación del elastómero. La ausencia de control directo sobre el elastómero fluido se debía a la densidad del polisulfuro que siendo ligeramente superior a la del agua experimenta una cierta flotabilidad muy difícil de controlar en el medio acuático. Esta circunstancia suponía un serio inconveniente para el uso de la silicona fluida en la realización de moldes subacuáticos. Sin embargo, el mayor problema es que el elastómero, sin capacidad adherente, tiende a decantarse lentamente por gravedad en los espacios situados en las cotas inferiores. De tal manera, la silicona no permitía cubrir área a reproducir con un grosor uniforme. El problema de que el caucho fluido resbale por la superficie del objeto sumergido se debe a que dicho producto experimenta una retracción superficial que anula las propiedades de adherencia de esta sustancia en el medio atmosférico. Ante estas circunstancias y para retener el elastómero fluido se planteaba la necesidad de confinarlo en torno al modelo mediante algún sistema de contención. La confección de un dique de contención propuesto por Murdock y Daley planteaba numerosos problemas técnicos añadidos a la falta de control sobre el elastómero. La heterogeneidad de la superficie y su condición de objeto arqueológico, añadido a las dificultades del medio, hacían imposible la tarea de construir un dique *ad hoc* sobre el objeto. Básicamente, puede concluirse que el sistema de contención condicionaba, en los trabajos de Murdock y Daley, la viabilidad del molde subacuático a la posibilidad de crear un dique contenedor del elastómero fluido en torno del objeto. Con este sistema, el moldeo de una gran estructura supondría el consumo de una ingente cantidad de elastómero con graves riesgos de manipulación y serias dificultades de movilidad. Al respecto de lo dicho, sirva como ejemplo el supuesto de reproducir la superficie interior del casco de un barco de 7 m de eslora y 1,5 m de manga con una diferencia de cotas entre la línea de borda y el ensamble de la quilla de 1,5 m para el cual se necesitarían 6000 litros de elastómero.

Otra solución técnica diferente fue planteada por los mismos conservadores años más tarde (Daley y Murdock, 1984) sobre los restos del ballenero vasco San Juan, hundido en 1565 frente a la costa de Canadá. La propuesta en esta ocasión fue el sistema denominado de elastómero en compresa, consistente en aplicar dicho elastómero sobre un trozo de tejido que posteriormente se adapta sobre el modelo a reproducir. Con este nuevo sistema se aumentaba notablemente el control de la aplicación y se reducía el consumo de producto respecto al anterior sistema de molde en colada. Sin embargo, este nuevo sistema planteaba numerosos problemas metodológicos. La compresa de caucho resultaba muy adherente en superficie y su traslado hasta el punto de aplicación requería el empleo de complicados bastidores y bandejas de aprehensión.

La adaptación de la compresa al modelo no era satisfactoria con una superficie ligeramente accidentada, ya que el tejido carecía de plasticidad para adaptarse al sustrato y el operador en este caso no tenía un control visual de la evolución del trabajo. Por estas razones, el molde resultante presentaba zonas con un registro deficiente, puntos de adelgazamiento y zonas con ausencia total de elastómero. No obstante, y a pesar de los problemas técnicos detectados, las investigaciones de Murdock y Daley se materializan finalmente en el moldeo y la posterior reproducción de una sección transversal de la cara interna de la estructura naval sumergida del ballenero San Juan (1565, Red Bay, Canadá). A partir de esta experiencia, el método aplicado por Murdock y Daley se convertiría en el primer referente de cualquier investigación orientada al moldeo subacuático.

Otras variantes de los sistemas empleados en el ballenero vasco fueron empleadas por G. Brocot, del Centre National de Recherches Archéologiques Subaquatiques, en el yacimiento lacustre de Charavines en Francia (David y Desclaux, 1992). Estos ensayos, con limitada eficacia, tuvieron la particularidad de introducir la experimentación con siliconas de condensación RTV —Room Temperature Vulcanization—. Este polímero, la silicona RTV, es un tipo de elastómero con buenas propiedades de moldeo cuyo uso en la reproducción artística es bien conocido. Sin embargo, su aplicación en el medio subacuático todavía necesitaba un mayor desarrollo para mejorar el control operativo. Adicionalmente a las investigaciones con silicona RTV, también experimentó Brocot con las resinas de poliéster para la fabricación de contramoldes (Raymond, 2012). De los ensayos efectuados por Brocot no se obtuvieron mejoras metodológicas en cuanto a la operatividad del proceso. El moldeo subacuático de objetos arqueológicos con el método de Brocot estaba supeditado a unas especiales condiciones para la ejecución del molde: reducido tamaño, escaso relieve y posición horizontal. No obstante, la incorporación del poliéster en la metodología de Brocot supone un notable avance, por cuanto hasta entonces se había venido utilizando la escayola para este fin.

En definitiva, los ensayos de Brocot, a pesar de los resultados dispares, abrieron una provechosa vía de investigación cuyo testigo sería tomado en España por la conservadora del CNIAS Carmen Pérez de Andrés, quien realizó interesantes experiencias en distintos yacimientos subacuáticos (Pérez, 1989). Con posterioridad, el conservador Enrique Toledo dirige experiencias de moldeo subacuático en 1992 sobre el barco romano de *Grum de Sal* en Ibiza (Martínez y Toledo, 1993). La participación como colaborador en los trabajos subacuáticos *Grum de Sal* motivó el interés profesional de quien suscribe acerca del moldeo subacuático y la recuperación de materiales frágiles. El fruto del esfuerzo investigador en esta materia se materializaría en el diseño y ejecución de un sistema inédito de moldeo subacuático para la extracción del *Mazarrón 1* (Zambrano, 1995). Este resultado y otros muchos engrosarían, mucho tiempo después, el capítulo experimental de una tesis doctoral que abordará esta problemática bajo la perspectiva de la ciencia de los materiales (*ibid*.).

Definición de un sistema combinado de molde flexible y contramolde rígido

A pesar de las moderadas dimensiones de *Mazarrón 1*, la consistencia física de la estructura ensamblada mediante lengüetas y pasadores impedía la extracción en bloque del conjunto. La debilitada estructura de quilla y tracas había cedido por efecto de la presión del enterramiento hasta formar un plano con el fondo. La estructura de tracas apenas conservaba una leve curvatura, reflejo de su estado original. Al margen de la estructura desaparecida, toda la parte conservada mantenía intacto el sistema de construcción formado por lengüetas, pasadores, así como huellas del cosido adicional. Los frágiles restos de cuerda insertados a través de los orificios de las tracas estaban presentes en el momento de la excavación.

La idea de extraer los restos en bloque, sin desmembración, fue la meta trazada desde un primer momento. Sin embargo, las comprometidas condiciones físicas del conjunto limitaban enormemente la actuación. Las posibilidades de extracción con estructuras modulares aplicadas en embarcaciones prehistóricas (Devals, 2008) eran inviables sobre la embarcación fenicia por la fragilidad del conjunto y el riesgo de desmembración. A pesar de la antigüedad de estas últimas, el hecho de formar un único bloque otorgaba una mayor resistencia al objeto.

La solución del moldeo *in situ* nunca antes aplicada para la extracción de una estructura de esas dimensiones comenzó a valorarse como posibilidad para el estudio y documentación en superficie. Desde ese momento, se inició una búsqueda para definir un sistema de documentación y soporte *in situ* adaptado a la estructura de los restos, es decir, un molde subacuático.

Con esta premisa se realizaron ensayos de diferentes tipos de sustancias fraguantes en el medio acuático: resina de poliéster, resina epoxy, caucho de poliuretano y elastómero de silicona.

De todos estos ensayos la combinación de silicona para el molde y poliéster para el contramolde resultó la opción más ventajosa por operatividad y garantías de conservación.

La formulación de silicona tixotropada en una proporción del 10:100 respecto a la base de elastómero mostró unas ventajas insuperables en la técnica de aplicación. El control manual de la operación de moldeo dada la fragilidad de las maderas era un requisito necesario para el éxito de la operación. Este sistema de moldeo controlado con posibilidad de ejecución en fases para cubrir un área de 9 m^2 superaba con creces los sistemas de moldeo conocidos hasta entonces.

Tanto el sistema de elastómero fluido (no-tixotropado) como el de elastómero en compresa tienen notables limitaciones operativas que reducen sus posibilidades a la reproducción de objetos en tamaño y condiciones muy concretas. El nuevo procedimiento para la obtención de moldes subacuáticos (Zambrano, 1995) se caracterizaba por sus buenas prestaciones operativas debido a la plasticidad del producto que permitía un control muy preciso de la aplicación.

Frente a los anteriores métodos de aplicación en colada (elastómero fluido) y compresa (elastómero estratificado), en *Mazarrón 1* se propuso un sistema de aplicación controlada que estaba basado en la modificación tixotrópica del elastómero. Los productos usados para la obtención del molde flexible fueron: 1) elastómero de silicona RTV de condensación —polidimetil siloxano—, 2) catalizador convencional velocidad media —dibutil dilaurato de estaño y ortosilicato de etilo— y 3) aditivo tixotrópico —octametil ciclotetrasiloxano y decametil ciclopentasiloxano—.

Experimentación con simulaciones arqueológicas

La obtención de un procedimiento para el moldeo y extracción del *Mazarrón 1* es el resultado de laboriosas experimentaciones con material simulado hasta alcanzar los objetivos previstos al inicio del proceso: la definición de un método escalable de moldeo subacuático capaz de permitir la extracción segura de cualquier objeto fragilizado. A continuación se describe, apoyado en imágenes (Figura 1), el proceso de excavación, moldeo y extracción de una cesta de esparto realizado como ensayo sobre material no arqueológico sumergido en agua. Se trata de una simulación con carácter

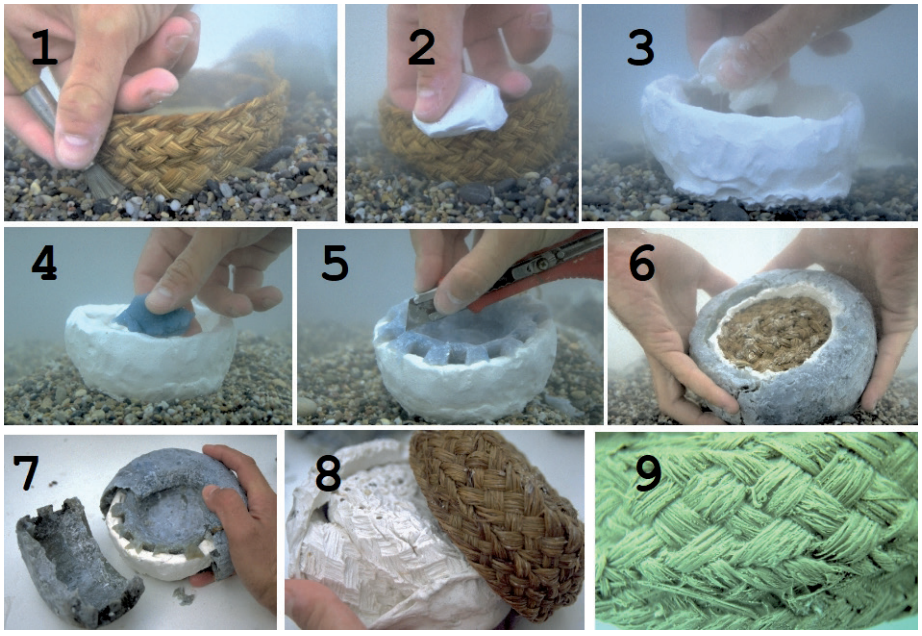


Figura 1. Descripción gráfica del proceso de moldeo subacuático y extracción con molde de silicona y poliéster sobre una cesta de esparto en condiciones de inmersión subacuática. Fotografías del autor.

ilustrativo realizada en el interior de una urna estanca rellena de agua donde se ha enterrado el objeto a extraer.

El proceso de recuperación comienza con la cuidadosa excavación del perímetro exterior del objeto. Para ello se deben emplear instrumentos que no puedan dañar el objeto: pequeñas espátulas, pinceles, etc. El uso de una manga de succión de agua es apropiado siempre y cuando tenga un sistema de regulación que permita reducir el caudal. Se avanza progresivamente en la excavación. Si se observa riesgo de desmoronamiento, puede iniciarse el molde y continuar la excavación cuando haya fraguado.

A continuación se inicia la aplicación de la silicona previamente mezclada en superficie y trasladada hasta el objeto. La presión es controlada para evitar daños en el objeto. El grosor debe ser uniforme y proporcionado al objeto. La silicona necesaria para completar la operación debe estar disponible. En caso de realizar el molde en varias tareas, es necesario tener previsto elementos de fijación como bolsas de arena. El molde debe cubrir el máximo de superficie descubierta. Después de completar el molde es preciso esperar 24 horas hasta completar el fraguado. Tras comprobar el fraguado del molde, comienza la construcción del contramolde. La resina de poliéster tixotropada se aplica del mismo modo que el elastómero: pequeñas cantidades presionadas ligeramente sobre la superficie, en este caso de la silicona. El tiempo operativo de la resina es menor que el de la silicona. Por esta razón es conveniente probar previamente los tiempos para programar correctamente la operación. Para facilitar la extracción del contramolde, que es rígido, puede realizarse un mecanizado de la resina en la fase de gel —consistencia de jabón—. De esta forma puede fabricarse una estructura modular que permita un fácil desmoldeo. Una simple cuchilla es suficiente para realizar muescas de ensamble. Para evitar la adherencia del siguiente módulo es preciso aplicar grasa de litio en las zonas de unión. Una vez completado el contramolde se deja fraguar 24 horas. Al cabo de ese tiempo puede despegarse el bloque y dar la vuelta para extraerlo. Hay que comprobar que el objeto ha sido completamente despegado. En el exterior se procede al desmoldeo. En primer lugar se retira el contramolde rígido. Si se ha realizado por partes, se sigue el orden inverso al de fabricación. Después se procede a la consolidación del objeto. Y finalmente se retira el molde flexible con extremo cuidado para no dañarlo. Como se observa en la figura, la silicona reproduce con gran calidad el relieve del objeto.

La superficie del objeto no queda manchada ni experimenta alteración alguna. En el caso de objetos extremadamente frágiles, la silicona puede cortarse con una cuchilla para facilitar el desmoldeo. En ese caso queda invalidada para el moldeo.

Para realizar una copia puede utilizarse cualquier sustancia capaz de ser vertida por colada y fraguar en el interior del molde. La escayola técnica de alta dureza es un material muy apropiado para realizar réplicas arqueológicas. La calidad del registro obtenida con este material es muy alta, no se deteriora con facilidad por la alta dureza y permite ser coloreado con pinturas al agua. Existe en diferentes colores de base; blanco, gris, amarillo, etc. La calidad de la réplica es muy elevada. La inspección ocular de la copia permite identificar el tipo de fibra, medir el tamaño de las fibras y describir el método de fabricación. Las pequeñas esferas que se producen en la superficie son debidas a burbujas de aire retenidas en la silicona durante el mezclado. En este ensayo, realizado en una campana de laboratorio, no existe la presión de la columna de agua que comprime y anula este efecto.

Contingencias de conservación previas al moldeo de *Mazarrón 1*

Durante la excavación del *Mazarrón 1* se realizaron recuperaciones de elementos extremadamente frágiles mediante moldes de silicona. Dichas intervenciones surgieron en paralelo al desarrollo de la excavación en zonas adyacentes al propio barco o en la misma cara interna del casco. A conti-

nuación se describe la experiencia del moldeo y extracción de los restos de una estera formada por haces de fibras vegetales cosidos mediante cuerdas. Esta pieza se conservaba sobre las tracas del barco en la posición que muestra la imagen. La escasa consistencia física de este hallazgo lo convertía en candidato a ser recuperado mediante la técnica de moldeo subacuático que ya estaba completamente definida mediante ensayos de laboratorio y pruebas *in situ*. En la Figura 2 se muestra el proceso de excavación, moldeo y levantamiento de dicho objeto.

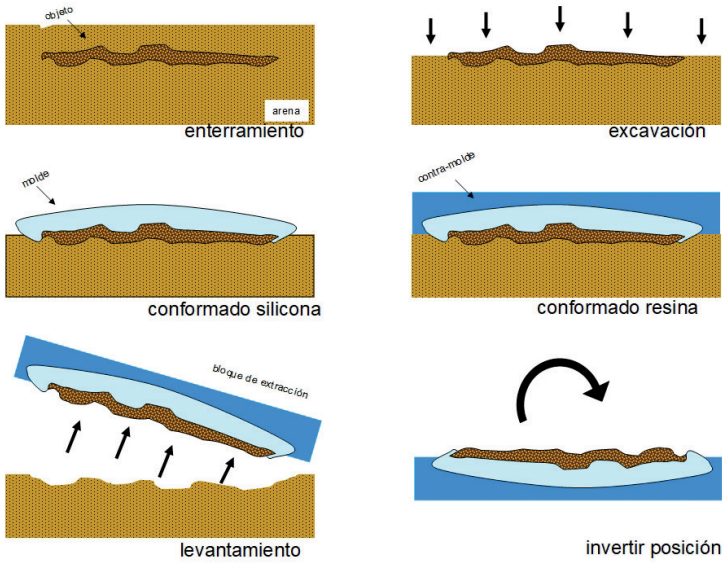


Figura 2. Descripción en esquema del proceso de excavación, moldeo y levantamiento de una estera de fibras vegetales en *Mazarrón 1*. Diseño de elaboración propia.

A pesar de mostrar un aparente buen estado de conservación, tal como ocurre en la mayoría de los casos, la estructura de fibras vegetales resultaba totalmente inmanejable. Los tallos vegetales de longitud variable entre 5 y 15 cm estaban dispuestos en haces unidos por cuerdas que los cosían transversalmente. Cualquier intento de levantamiento sin un soporte de moldeo supondría la dislocación y fractura de la mayor parte del conjunto. La aparente consistencia del objeto compuesto por cientos de fibras era un efecto ilusorio, ya que los elementos sin cohesión se fracturaban ante el más mínimo esfuerzo aplicado.

Antes de realizar el molde, se hizo una completa excavación del hallazgo que delimitó su contorno y permitió una completa documentación fotográfica. En este sentido, la limpieza superficial del objeto es, por otra parte, una acción muy conveniente para el éxito del molde y la recuperación. La superficie del objeto despejada de arena, fango o cualquier otro tipo de materia ajena al objeto, facilita el agarre de la silicona y evita futuras interferencias en el posterior tratamiento de conservación.

La silicona tixotropada se aplicó en una sola tarea hasta cubrir la superficie y el perímetro del objeto. La silicona se dejó fraguar por espacio de una jornada cubierta por arena para evitar movimientos. Completado el fraguado de la silicona se aplicó una capa de poliéster tixotropado sobre la silicona. Al cabo de una hora, el bloque fue levantado. Para ello, se manipuló el molde levantándolo ligeramente para introducir bajo el mismo una lámina de plástico. Con la ayuda del soporte se volteó el conjunto en un movimiento lento y decidido. De este modo, se invirtió la posición del bloque para dejar a la vista la cara del objeto no cubierta por la silicona. El bloque se introdujo dentro de un recipiente y fue cubierto con arena para inmovilizarlo durante el traslado. El agua contenida en el mismo sirvió para mantenerlo húmedo hasta su llegada al laboratorio de conservación.

El procedimiento de extracción con moldeo tiene la finalidad de preservar la integridad del objeto desde el momento de su descubrimiento hasta su recepción en el laboratorio de conservación. Esta experiencia del *Mazarrón 1* y otras posteriores realizadas en colaboración con el Centro de Arqueología Subacuática del Instituto Andaluz del Patrimonio y la Universidad de Cádiz, han servido para diseñar un procedimiento general de extracción de objetos frágiles. Este método ha sido profusamente comunicado al objeto de convertirlo en un recurso metodológico disponible para todos los profesionales dedicados a la investigación arqueológica y la conservación del patrimonio arqueológico subacuático (Zambrano, 2000; Zambrano, 2003; Zambrano, 2008; Zambrano,

Gil y Bethencourt, 2014; Zambrano, Gil y Bethencourt, 2015 y Zambrano, Gil y Bethencourt, 2018). Adicionalmente y con el mismo propósito, en colaboración con la Escuela Internacional Doctoral de Estudios del Mar (EIDEMAR) de la Universidad de Cádiz, se realizan cursos prácticos de especialización en las técnicas de moldeo y extracción subacuática para estudiantes de doctorado y alumnos del Máster de Arqueología Náutica y Subacuática de la UCA.

El proceso de moldeo y extracción del *Mazarrón 1*

En este último apartado se describe el proceso de moldeo y extracción del *Mazarrón 1*. Las descripciones procedimentales sobre objetos pequeños expuestas en apartados previos explican la metodología de moldeo y extracción de materiales frágiles en el medio subacuático. Aplicar dicho método en objetos de mayor tamaño no supone otro cambio más que la necesidad de escalar el tiempo, la infraestructura y los productos necesarios. Tratándose de un proyecto de mayor envergadura física, el *Mazarrón 1* precisó una planificación más compleja que conviene relatar para una mejor comprensión. A continuación, se expondrá lo esencial de este largo proceso que culminó con la extracción del barco en dos bloques firmemente protegidos por moldes de silicona y poliéster. Es conveniente en este punto señalar que el proyecto de extracción mediante moldeo subacuático consiste en una actividad de conservación arqueológica marcadamente diferenciada de las tareas arqueológicas de excavación y registro documental. El procedimiento de moldeo subacuático empleado en *Mazarrón 1* fue en su momento una técnica inédita y nunca antes aplicada en arqueología subacuática que surgió como resultado de un laborioso proceso investigador. Es necesario por tanto manifestar que alguna publicación de este procedimiento (Negueruela, 2002) se ha realizado sin citar al responsable intelectual del mismo. No obstante, resulta igualmente oportuno recordar que el éxito de la intervención en el moldeo y extracción del *Mazarrón 1* fue debida a todo un equipo de profesionales unidos alrededor de un proyecto común: Juan Carlos Zayo, Manuel Rodríguez de Viguri, Ana Isabel Miñano, Juan Pinedo, Santos Barba, Mercedes Gómez, Pedro Ortiz, Inmaculada Arellano, Juan Luis Sierra, Carlos Gómez y Emilio Peñuelas. En la práctica, ya se ha dicho que la planificación del trabajo para el moldeo y extracción del *Mazarrón 1* estuvo supeditada a los requerimientos estrictamente conservativos del proceso. No obstante, al igual que la conservación está implementada en el proceso de excavación, la supervisión arqueológica es necesaria en el proceso de extracción. Por esa razón, el debate para la toma de decisiones no fue nunca eliminado en el desarrollo operativo del proceso. Las aportaciones de todos fueron decisivas para el éxito final.

Para describir el proceso de extracción del *Mazarrón 1* conviene situarse al principio de la operación de moldeo, que coincide con el final de la excavación arqueológica, aunque como ya se ha dicho, los límites son imprecisos y la colaboración de arqueólogo y conservador es un requisito permanente. La excavación del contexto perimetral y del subsuelo inferior de la estructura deben realizarse bajo control arqueológico por razones obvias. Sin embargo, en este momento metodológico, una vez iniciado el proceso de moldeo para la extracción, toda la maquinaria está focalizada en recuperar la estructura de la mejor forma posible. Las directrices operativas, llegado este punto en *Mazarrón 1,* fueron planificadas por el conservador responsable de la intervención y todas las actuaciones se desarrollaron bajo su control directo. Los tiempos de ejecución fueron variables dependiendo de la propia evolución del proceso que contaba de antemano con los numerosos obstáculos propios de la arqueología en el medio subacuático.

La correcta ejecución del trabajo para que el elastómero y la resina se adapten convenientemente formando un bloque con la estructura es el objetivo ineludible donde se dedicará tanto esfuerzo como sea necesario. La programación de las inmersiones en función de este objetivo precisó ajustes diarios para garantizar la continuidad en el trabajo. Situaciones imponderables provocadas por el estado de la mar exigieron modificaciones del programa de trabajo, pero nunca pusieron en riesgo el resultado del proceso porque siempre se actuó en zonas delimitadas con

posibilidad de cierre inmediato. No obstante, durante el tiempo previsto para la extracción del barco, se mantuvo una vigilancia continua del parte meteorológico. Concretamente, se prestó especial atención a la altura, dirección y periodo de ola en la zona del yacimiento, por ser los parámetros que permiten pronosticar un probable daño sobre la estructura.



Figura 3. Superficie de tablas preparadas para comenzar el proceso de moldeo con silicona. Los largueros transversales de la estructura metálica se han retirado para realizar la ortofotografía. Posteriormente serán repuestos para proceder al cerramiento protector del barco. Fotografía: P. Ortiz, archivo CNIAS-MNAM.

La preparación de la superficie antes del moldeo es esencial para un correcto asentamiento de la silicona. En la Figura 3 se aprecia el interior del casco del *Mazarrón 1* preparado para comenzar el molde. Con anterioridad se habían realizado los trabajos de documentación gráfica (dibujo y fotografía) propios del registro arqueológico. En la imagen, no obstante, se observan las cuadernas fijadas en su posición original mediante cintas plásticas y alfileres. Dichas cuadernas, al igual que algún fragmento de traca, fueron extraídas de forma independiente al resto de la embarcación por razones de practicidad conservativa. Durante todo el proceso de moldeo, debido al completo descubrimiento de los restos, se mantuvo una especial atención al cerramiento de la estructura metálica de la caja de protección. Con este fin, el trabajo de moldeo se organizó por módulos para destapar exclusivamente la zona efectiva de trabajo y así poder abordar un cerramiento urgente en caso de variación meteorológica. Durante todo este proceso de moldeo, las tareas previstas en cada jornada se planificaron para disponer un control preciso tanto del personal como de la instrumentación y suministros necesarios. La duración estimada del moldeo se anotaba en la ficha de seguimiento que incorpora el croquis de situación en cada una de las jornadas de trabajo. Toda esta planificación queda reflejada en fichas diarias donde se incorpora un croquis con anotaciones de todas las incidencias del trabajo (Figura 4).

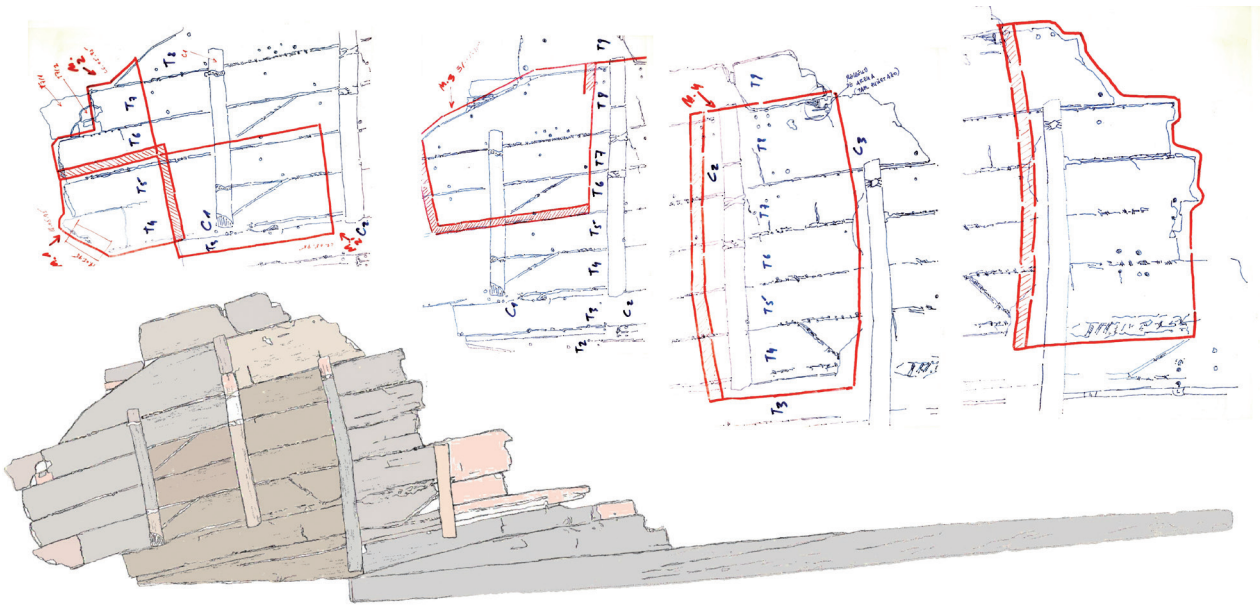


Figura 4. Croquis y plano del *Mazarrón 1* para la planificación del proceso de moldeo en tareas sucesivas. El solapamiento de tareas se marca con sombreado en diagonal. Diseño de elaboración propia sobre dibujo de J. C. Zayo.

Mediante este control exhaustivo, si un módulo queda incompleto, podía continuarse en otro momento con total garantía de efectividad. Para esta finalidad, considerando que nunca es descartable la posibilidad de suspender un trabajo a medias por circunstancias imprevistas, se experimentó con un producto destacante para evitar la adherencia entre módulos, la grasa de litio en el borde vivo de la capa de silicona. Siempre, para mejorar la integración de la silicona sobre el sustrato de madera, al terminar la aplicación de la silicona, se deposita una bolsa de arena para ejercer presión moderada sobre la misma y la madera.

A título indicativo, para el proceso de moldeo, existen toda una serie de tareas cuya explicación excede el objetivo de este artículo y que pueden consultarse en la bibliografía que acompaña este artículo. No obstante, conviene destacar algunas de las más importantes, como la realizada antes de iniciar cada tarea de moldeo con silicona. En este caso se procedía a limpiar meticulosamente la superficie de la madera antes de aplicar la silicona. Para ello se utilizaron brochas suaves de pelo de cerda. La cantidad de silicona a aplicar en cada tarea es calculada con anterioridad para evitar tanto la falta como el desperdicio de producto. Para ello, el consumo estimado de silicona se calcula a razón de 20 ml de silicona por cm^2 de sustrato a moldear. Es importante ajustar bien las cantidades para que el trabajo progrese de forma ordenada. Si no se cubre el área prevista es necesario completarla en otra inmersión con la consiguiente pérdida de tiempo.

Una vez que todo el material está preparado se traslada sobre la pontona flotante dispuesta junto al yacimiento, donde se procede a la mezcla de los productos. Para ello se cuenta con un grupo electrógeno de gasóleo. Con batidores eléctricos se preparan las cantidades necesarias para cubrir el área del módulo previamente acordado. Para este fin se utilizan vasos de plástico de 1 litro de capacidad dotados de asa. Los vasos se afianzan en una caja de plástico ranurada mediante elásticos. Otros instrumentos auxiliares, como espátulas y pinceles, también se incorporan a la caja de tal modo que la operación de moldeo se desarrolla con absoluta continuidad bajo agua una vez que se inicia la aplicación del producto. Esta sincronización de tareas es esencial para controlar los tiempos de curado y así evitar un polimerizado sobrevenido por superar el tiempo óptimo de trabajo.

Siguiendo esta metodología, la silicona se aplicó sobre la superficie de madera en pequeñas cantidades que permitían un control muy preciso de la adaptación al sustrato. Para este fin, y al

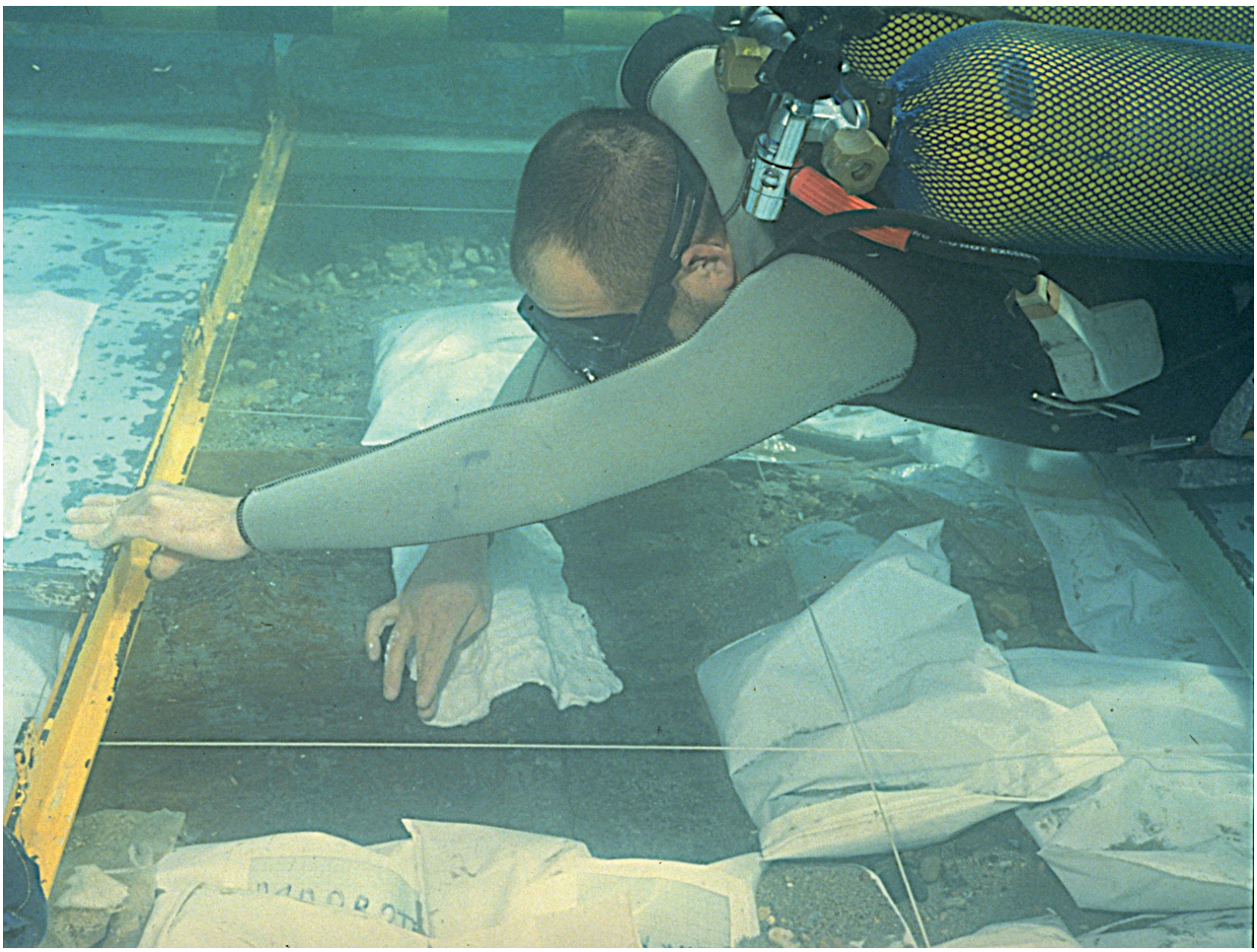


Figura 5. Aplicación manual de silicona sobre una cuaderna del *Mazarrón 1* en capa delgada de 0,5-1 cm. La adaptación del elastómero se realiza con un control preciso gracias a la aplicación manual. Las bolsas de arena protegen la superficie de la madera donde no está previsto trabajar. Fotografía: P. Ortiz, archivo CNIAS-MNAM.

objeto de tener una continuidad en el proceso de aplicación, se mantuvo el vaso contenedor del producto en la mano contraria a la de aplicación hasta agotar la silicona, procediendo en este punto al cambio de contenedor para proseguir la tarea. Durante este proceso, las pequeñas pellas de silicona fueron adaptadas durante la fase plástica del producto sin contratiempos de reticulado sobrevenido (Figura 5). El éxito de esta planificación radicó en la correcta dimensión de los módulos de trabajo que nunca pecó de excesiva.

En el desarrollo del proceso, la arena del contorno exterior de las maderas pudo ser utilizada para sujetar los bordes del molde. Una pequeña cantidad de arena presionada contra la silicona sirvió para impedir que esta se desprendiera de la madera en posición vertical. Para esto, una ligera presión con los dedos resulta suficiente para que la silicona penetre en el relieve y quede sujeta al sustrato. A medida que se fabricaba el molde, y ante el riesgo de movimientos indeseados por la corriente, se procedió a fijar la silicona con bolsas de arena adaptadas a la superficie de esta. En todo caso se evitó que el peso de las bolsas nunca fuera excesivo para no afectar al objeto o provocar el desbordamiento de la silicona. En este sentido, el relleno de las bolsas estaba calculado para hacer una presión controlada sobre la silicona y obtener un grosor uniforme de entre 0,5 y 1 cm. Siguiendo este procedimiento, la fabricación del molde continuó hasta cubrir la extensión total del barco. El resultado de esta operación fueron dos moldes independientes de silicona correspondientes a la tablazón de una banda y a la quilla conservada con parte de tablazón en su extremo.

Una vez completado el molde flexible de silicona se acometió la fabricación del contramolde rígido de poliéster. En esta fase de moldeo, la preparación del producto, al igual que ocurre con la silicona, se realiza en superficie. El procedimiento consiste en dos partes definidas: 1) adición de la carga de sílice y el mezclado con máquina rotatoria hasta conseguir una mezcla tixotrópica y 2) adición del catalizador (peróxido de metil-etil-cetona al 2 %) justo antes de la inmersión.

A partir de este instante y antes de fraguar, la mezcla presenta un intenso color azul que es un indicativo muy preciso del proceso de polimerizado. Desde el momento de la mezcla, el color azul se vuelve cada vez más pálido hasta alcanzar un tono grisáceo, indicador de que la reacción está en marcha. Pero quizás sea el tacto de la mezcla aquello que mejor nos indique el tiempo óptimo de operatividad de la resina de poliéster. El endurecimiento progresivo tiene un momento clave en que la resina adquiere la consistencia del jabón sólido. En este preciso momento que apenas dura unos minutos, la mezcla puede mecanizarse con cuchillas o cualquier otro instrumental cortante. En resumen y a título indicativo, resulta conveniente extremar la precisión en el cálculo de consumos de la masilla de poliéster puesto que los tiempos operativos son muy cortos. El proceso de endurecimiento tiene lugar en menos de 15 minutos. Para ello es importante que exista buena coordinación entre el equipo de superficie y las personas que aplican el producto.

Adicionalmente, es importante extremar las medidas de seguridad cuanto se trabaja con la resina de poliéster. Al objeto de no perder sensibilidad en las manos durante el moldeo del *Mazarrón 1* se empleó un guante químico protector de la piel (Emolienta® de Laboratorios Viñas). De esta forma pudo hacerse una aplicación manual de producto sin riesgos de salud.

Una vez que se hubo completado la fabricación del contramolde, todo el conjunto de ambas estructuras se convirtió en un objeto rígido y manipulable sin riesgo de fractura ni dislocación de elementos. Por consiguiente, llegado a este punto se acordó todo lo necesario para proceder al levantamiento y volteado del bloque. Seguidamente, cada uno de los bloques fue depositado en el interior de contenedores de acero diseñados para albergar las dos partes del *Mazarrón 1* desde el fondo marino hasta el laboratorio del CNIAS. Dentro de la caja, el bloque de molde y maderas firmemente sujetos entre sí fue afianzado con bolsas de arena para evitar movimientos durante el traslado. A partir de ese momento, con el apoyo de globos de aire cuidadosamente manipulados, se elevó el conjunto hasta la superficie. Una vez los globos asoman fuera del agua, cada una de las cajas suspendidas a 1 m de profundidad desde la superficie se desplaza remolcada por una embarcación neumática bajo el estricto control de los buceadores hasta la instalación portuaria donde se encontraba preparado el dispositivo de elevación y transporte. Cada caja de acero había sido diseñada para soportar un peso superior a 4 toneladas. Mediante eslingas pasadas por la base, la caja es izada a superficie. La madera se cubrió con capas de plástico para preservarla de la luz, manteniendo una humectación continua con el propio agua salada contenida en el interior de las cajas.

A su llegada a las instalaciones del CNIAS, la grúa depositó las cajas convenientemente dotadas de ruedas a la entrada a los laboratorios, desde donde se realizó el desplazamiento al interior de los mismos. A partir de este instante, y ya dentro de las tareas de conservación preventiva al margen del proceso de extracción, se procedió al acondicionamiento de los materiales como preparación para el tratamiento de conservación a largo plazo del que serían objeto en un futuro. Dicho tratamiento concluyó con la instalación del *Mazarrón 1* dentro de la exposición permanente del Museo ARQVA de Cartagena, lugar donde puede ser actualmente visitado.

En la Tabla 1 se acompaña un resumen sintetizado de insumos (tiempo invertido, personal y equipamiento) para el proceso completo en su evolución cronológica desde el inicio de los trabajos previos, el 8 de marzo de 1995, hasta la extracción y traslado de la embarcación, el 30 de junio de 1995.

Tabla 1
Relación (no exhaustiva) de insumos generados en el proceso de moldeo y extracción del *Mazarrón 1*

1. Trabajos previos			
Inicio	**Personal**	**Tiempo consumido**	**Equipamiento / material**
8/03/1995	• 1 asistente superficie • 1 conservador subacuático • 1-2 buceadores de apoyo	• 9 días • 36 horas inmersión	• equipo de succión • instrumental diverso
2. Moldeo subacuático			
Inicio	**Personal**	**Tiempo consumido**	**Equipamiento / material**
16/05/1995	• 1 asistente superficie • 1-2 conservador subacuático • 1-2 buceadores de apoyo	• 17 días • 81 horas inmersión	• 105 kg de silicona • 93 kg de poliéster • equipo electrógeno • pontona y embarcación • instrumental diverso • batidor eléctrico
3. Extracción y traslado			
Inicio/fin	**Personal**	**Tiempo consumido**	**Equipamiento / material**
30/06/1995	• 3 asistente superficie • 1-2 conservador subacuático • 4 buceadores de apoyo	• 1 día • 12 horas inmersión	• pontona y embarcación • grúa portuaria • contenedores de acero • globos, cabos, grilletes • camión-grúa • sacos de arena

Referencias

Arellano, I., Barba, S., Gómez, M,. Miñano, A., Negueruela, I. y Pinedo, J. (1999). Proyecto nave fenicia: 2.ª campaña. *Serie Memorias de Arqueología de la Región de Murcia*, 9, 220-222.

Cabrera, P., Pinedo, J., Roldán, B., Barba, S. y Perera, J. (1997). Campaña de cubrición del yacimiento subacuático de la Playa de la Isla (Mazarrón-Murcia). *Serie Memorias de Arqueología de la Región de Murcia,* 6, 149-156.

Daley, T. y Murdock, L. D. (1984). Underwater molding of a cross-section of the San Juan Hull: Red Bay, Labrador, Canada. *ICOM Committee for Conservation, 7th Triennal Meeting, Copenhagen, 10-14 September 1984* (pp. 1-5). ICOM.

David, R. y Desclaux, M. (1992). *Pour copie conforme: les techniques de moulage en paléontologie, en préhistoire et en archéologie historique*. Nice: Serre Editeur.

Devals, C. (2008). Les pirogues monoxyles du Brivet (Loire-Atlantique). *Revue Archeologique de l'Ouest*, 25, 305-338. http://journals.openedition.org/rao/713

Martínez, B. y Toledo, E. (1994). Moldes de silicona para piezas de madera procedentes de barcos hundidos. *Pátina*, 6, 183-189.

Murdock, L. D. y Daley, T. H. (1981). Polysulphide rubber and its application for recording archaeological ships feature in a marine environment. *International Journal of Nautical Archaeology*, 10 (4), 337-342.

Murdock, L. D. y Daley, T. H. (1982). Progress report on the use FMC polysulphide rubber compounds for recording archaeological ship features in a marine environment. *International Journal of Nautical Archaeology,* 11(4), 349-353.

Negueruela, I. (2002*). Excavaciones arqueológicas subacuáticas realizadas por el Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas en el yacimiento de la Playa de la Isla (Mazarrón). Memoria de la campaña de 1995. Serie Memorias de Arqueología de la Región de Murcia, 10* (pp. 161-180).

Pérez, C. (1989). Arqueología subacuática y conservación. *Revista de Arqueología*, 93, 50-59.

Raymond, P. (2012). Le moulage en archéologie préventive. *Les nouvelles de l`archéologie,* 130, pp. 38-43. https://doi.org/10.4000/nda.2652

Zambrano, L. C. (1995). *Nuevo Procedimiento para la obtención de moldes subacuáticos*. ES2119649B1[Patente de Invención]. Oficina Española de Patentes y Marcas.

Zambrano, L. C. (2000). Moldeo subacuático de objetos arqueológicos. *PH Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 32, 175-182.

Zambrano, L. C. (2003). Moldeados y reproducciones problemática bajo el agua. En C. Fernández y R. Palacio (Eds.), *La conservación del material arqueológico subacuático, Monte Buciero 9* (pp. 353-370). Santoña: Comisión de Educación y Cultura.

Zambrano, L. C. (2008). La extracción de materiales arqueológicos subacuáticos; técnicas de consolidación in situ con polímeros. En B. Carrascosa (Ed.), *I Jornadas Científicas: La Recuperación del Patrimonio Histórico* (pp. 68-75). Valencia: Universitat Politécnica de Valencia.

Zambrano, L. C. (2015). *Desarrollo de técnicas de moldeo in situ con polímeros sintéticos aplicados en la conservación del patrimonio arqueológico subacuático*. Tesis de doctorado no publicada. Universidad de Cádiz.

Zambrano, L. C., Gil, M. L. y Bethencourt, M. (2014). Physical characterization of super-fragile materials in underwater archaeological sites. En M. A. Rogerio-Candelera (Ed.), *Science, Technology and Cultural Heritage* (pp. 77-82). CRC Press/Balkema.

Zambrano, L. C., Gil, M. L. y Bethencourt, M. (2015). Recovery of super-fragile materials in underwater sites with silicone elastomers. *Actas del V Congreso Internacional de Arqueología Subacuática IKUWA V, Cartagena 2015* (pp. 302-311). Madrid: Subdirección General de Documentación y Publicaciones; Ministerio de Educación, Cultura y Deportes.

Zambrano, L. C., Gil, M. L. y Bethencourt, M. (2018). A general method to recover and stabilize super-fragile materials from underwater archaeological sites. En M. Mosquera y M. L. A. Gil (Eds.), *Conserving Cultural Heritage. Proceedings of the 3rd International Congress on Science and Technology for the Conservation of Cultural Heritage (TechnoHeritage 2017), May 21-24, 2017, Cadiz, Spain*. Routledge.

La conservación de los pecios de *Les Sorres X* (Castelldefels), *Barceloneta I* (Barcelona) y Plaça dels Carros (Tarragona)

Cati Aguer Subirós
Restauradora colaboradora del MAC-CASC
restauracio_casc.cultura@gencat.cat

Rut Geli Mauri
Arqueóloga responsable del MAC-CASC
rutgeli@gencat.cat

Resumen: El presente trabajo se centra en la conservación de cuatro pecios de diferente cronología hallados en Catalunya en medio freático y que fueron objeto de intervenciones arqueológicas preventivas o de urgencia.

En el momento en que se inicia la intervención arqueológica en un pecio, la madera queda al descubierto y se produce la ruptura del equilibrio al cual se había adaptado.

El material orgánico pasa de estar enterrado y sumergido a estar en un medio aéreo, con luz y oxígeno, y sobre este material ya degradado, se puede reiniciar un proceso rápido de alteración. En todo momento se tiene que mantener húmedo, puesto que un secado incontrolado implicaría la pérdida absolutamente irreversible de la madera.

La conservación de la madera empapada de agua conlleva de un equipamiento específico para obtener los resultados adecuados. Se trata de un material muy delicado, si no se adoptan las decisiones correctas, desde que este aparece en la excavación.

La finalidad primordial es impedir la extracción del agua que se encuentra dentro de la madera de manera precipitada. Así pues, esta extracción se hace de modo controlado hasta llegar a conseguir el equilibrio higroscópico con la temperatura y humedad relativa de la atmósfera que los circunda. Por eso la consolidación de las maderas a fin de darle la dureza mecánica oportuna.

Palabras clave: pecio, conservación, impregnación, liofilización, consolidación, PEG 4000, maderas empapadas de agua.

Abstract: This paper focuses on the conservation of four shipwrecks of different chronology found in Catalonia in a phreatic environment and which were the object of preventive archaeological interventions.

When archaeological intervention begins on a shipwreck, the wood is exposed and the equilibrium to which it had adapted is broken.

The organic material goes from being buried and submerged to being in an aerial environment, with light and oxygen, and on this already degraded material, a rapid process of alteration can be restarted. It must be kept moist at all times, as uncontrolled drying would result in the absolutely irreversible loss of the wood.

The preservation of waterlogged wood requires specific equipment to obtain the right results. It is a very delicate material, if the right decisions are not taken, as soon as it appears in the excavation.

The main purpose is to prevent the water inside the wood from being extracted in a precipitous manner. Therefore, this extraction is carried out in a controlled manner until the hygroscopic equilibrium with the temperature and relative humidity of the surrounding atmosphere is achieved.

This is the reason for the consolidation of the wood in order to give it the appropriate mechanical hardness.

Keywords: shipwreck, conservation, impregnation, lyophilisation, consolidation, PEG 4000, waterlogged wood.

Introducción

El pecio de *Les Sorres X,* con cronología del siglo XIV, se encontró en Castelldefels en el año 1990, durante las obras de construcción del canal de remo para las Olimpíadas de Barcelona del 92 (Raurich, Pujol, Martín *et al*., 1992).

El pecio *Barceloneta I*, con cronología del siglo XV, fue localizado y excavado en el año 2008, próximo a la estación de Francia (Barcelona) (Soberón, 2010, pp. 134-163; Soberón, Pujol, Llergo *et al.,* 2012, pp. 411-422).

Los pecios de la Plaça dels Carros, denominados Vaixell 1 y Vaixell 500, con cronología del siglo XVIII, fueron hallados en 2012 durante la excavación arqueológica ejecutada para la construcción de un paso subterráneo de carácter peatonal en la Plaça dels Carros, cerca del puerto de Tarragona (Bru, 2014, pp. 485-494).

Los cuatro pecios son fruto de excavaciones preventivas o de urgencia y su conservación fue posible gracias a que se encontraban en medio húmedo en nivel freático. En todos los casos los pecios no podían permanecer *in situ*, ya que se veían afectados por las obras ejecutadas, por lo que una vez excavados y documentados se procedió a su extracción y conservación.

Es gracias a la existencia del Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya (CASC), unidad de investigación del Museu d'Arqueologia de Catalunya (MAC), y a la disponibilidad de su laboratorio de conservación y restauración, especializado en materiales arqueológicos de procedencia subacuática, que las diferentes operaciones se pudieron coordinar con los equipos o empresas encargados de la excavación de los pecios para efectuar una extracción, con la metodología más apropiada en cada ocasión y su preservación hasta la llegada al laboratorio del MAC-CASC para su conservación.

Tratamiento de conservación de los pecios *Les Sorres X* y *Barceloneta I*

El método escogido para la conservación de los pecios *Les Sorres X* y *Barceloneta I* fue por inmersión en PEG 4000 (peso molecular) a una elevada concentración y en caliente.

Este consiste en la sustitución del agua que satura la materia orgánica por una cera hidrosoluble (PEG) que rellena los vacíos dejados por la desaparición de la celulosa al solidificar a temperatura y humedad ambiente y a elevada concentración.

De manera gradual y progresiva se fuerza un proceso de intercambio dentro del baño entre el agua retenida por las maderas y la solución del baño, que consiste en una solución de PEG 4000 en agua. Por osmosis, la cera penetra en la madera y se aumenta la concentración de PEG en el baño a medida que se consigue un equilibrio entre el contenido del PEG en el baño y el de las maderas (Jover 2009, p. 629).

Para poder llevar a cabo este tratamiento de *Les Sorres X,* el primer pecio arqueológico que se conservó en Catalunya, fue imprescindible la construcción de un depósito para albergar las maderas que constituían el barco para ser tratadas por inmersión.

El depósito que se construyó en el mismo yacimiento tenía unas dimensiones de 4 x 1,5 x 1,5 m, y estaba construido con plancha de 1,5 cm de grosor de acero inoxidable 316, inmune al PEG 4000.

Unas vigas, en forma de T, se soldaron desde el exterior para evitar que el depósito se deformara, cinco en las paredes más largas y dos en las más cortas. En la parte inferior se soldaron unas vigas de hierro de 20 cm.

Se instalaron 10 resistencias externas (1000W/unidad) cubiertas con cerámica refractaria junto a las paredes laterales e inferiores acopladas entre las vigas. Estas atribuían la potencia indispensable para dar la temperatura suficiente de entre 50 y 60 grados centígrados necesaria durante todo el tratamiento. Se forró todo el perímetro, excepto el superior, con fibra de vidrio para mayor eficacia de las resistencias.

La parte superior se cerró con seis tablas, unidas cada dos, con bisagras, para poder abrir el depósito fácilmente, de madera tratada con hidrofugante (popularmente llamado «tablero marino»). así como para las paredes laterales, para tapar la fibra de vidrio se utilizaron otras seis tablas.

Los laterales y el perímetro rectangular de la parte superior se remacharon con unas barras de aluminio en forma de L.

Asimismo, se acopló una bomba, situada en el exterior del depósito, para poder hacer circular el baño de PEG 4000 y mantenerlo en movimiento, y para que no quedara estancado, pues, a concentraciones elevadas, tiene tendencia a depositarse en el fondo.

Desde la salida de la bomba y atravesando todo el depósito a lo largo de toda la parte inferior y subiendo por un lateral corto, se instaló un tubo de acero inoxidable de 3 cm de diámetro, con salida aplastada (para minimizar la potencia de salida del agua), que es por donde salía el consolidante, es decir, este entraba por uno de los tubos de la bomba situado en un lateral corto, en la parte exterior e inferior del depósito y salía por el lateral corto paralelo a la bomba, pero recorriendo todo el lateral largo. Durante el recorrido del consolidante por este tubo, era el propio baño calentado el que lo mantenía fluido.

Se instaló un termómetro de sonda de 20 cm a una altura de 75 cm del fondo, que indicaba la temperatura dentro del baño en todo momento.

Todo este sistema se automatizó en un cuadro de mandos con un regulador que conectaba y desconectaba la temperatura y la bomba de acuerdo con una programación previamente establecida.

Un mecanismo de seguridad prevenía que la bomba no pudiera engancharse si por algún problema técnico las resistencias fallaban y el baño no se calentaba.

Les Sorres X

Para la excavación del pecio se utilizó el sistema wellpoint, para drenar el nivel freático superficial dejando la zona parcialmente seca. Al mismo tiempo se instaló un sistema de riego con micro-aspersores y mangueras en las partes más expuestas a la luz solar para mantener un grado de

humedad y permitir la conservación de las maderas. Además, se protegieron las zonas que no son objeto de estudio con geotextil. Y las que son objeto de estudio se rociaron con abundante agua y se mantuvieron tapadas protegidas con plásticos opacos.

En un principio se planteó su extracción en bloque, pero una vez valorado el estado de conservación de las maderas y la desaparición de los elementos de fijación, dada su fragilidad, se optó finalmente por el despiece. «El grado de conservación del barco, visto como una unidad estructural, era malo, debido a que parte del esqueleto, las costillas, estaba muy fragmentado, y las uniones entre las costillas y el buque habían desaparecido, por la inevitable transformación de los clavos de hierro en óxido […]. Las cuñas que se conservaban tampoco no cumplían su función de unión sólida» (Jover, 1992, p. 58).

Para la extracción de los diferentes elementos del barco se utilizaron unos tableros, donde se colocaban todos los fragmentos, numerados y marcados.

Posteriormente se realizó una limpieza mecánica de los elementos extraños a la madera, como los restos del sedimento procedente del contexto de la excavación. También se eliminó la brea, producto impermeabilizante que revestía las maderas del barco y que podía impedir la penetración del consolidante utilizado para la conservación. Los restos de óxido de los clavos de hierro empleados para la construcción del barco también se retiraron, ya que provocan el ennegrecimiento de la madera y su debilitamiento, fenómeno que provoca la acidificación, pudiendo llegar a destruirla con el paso del tiempo (Figura 1).

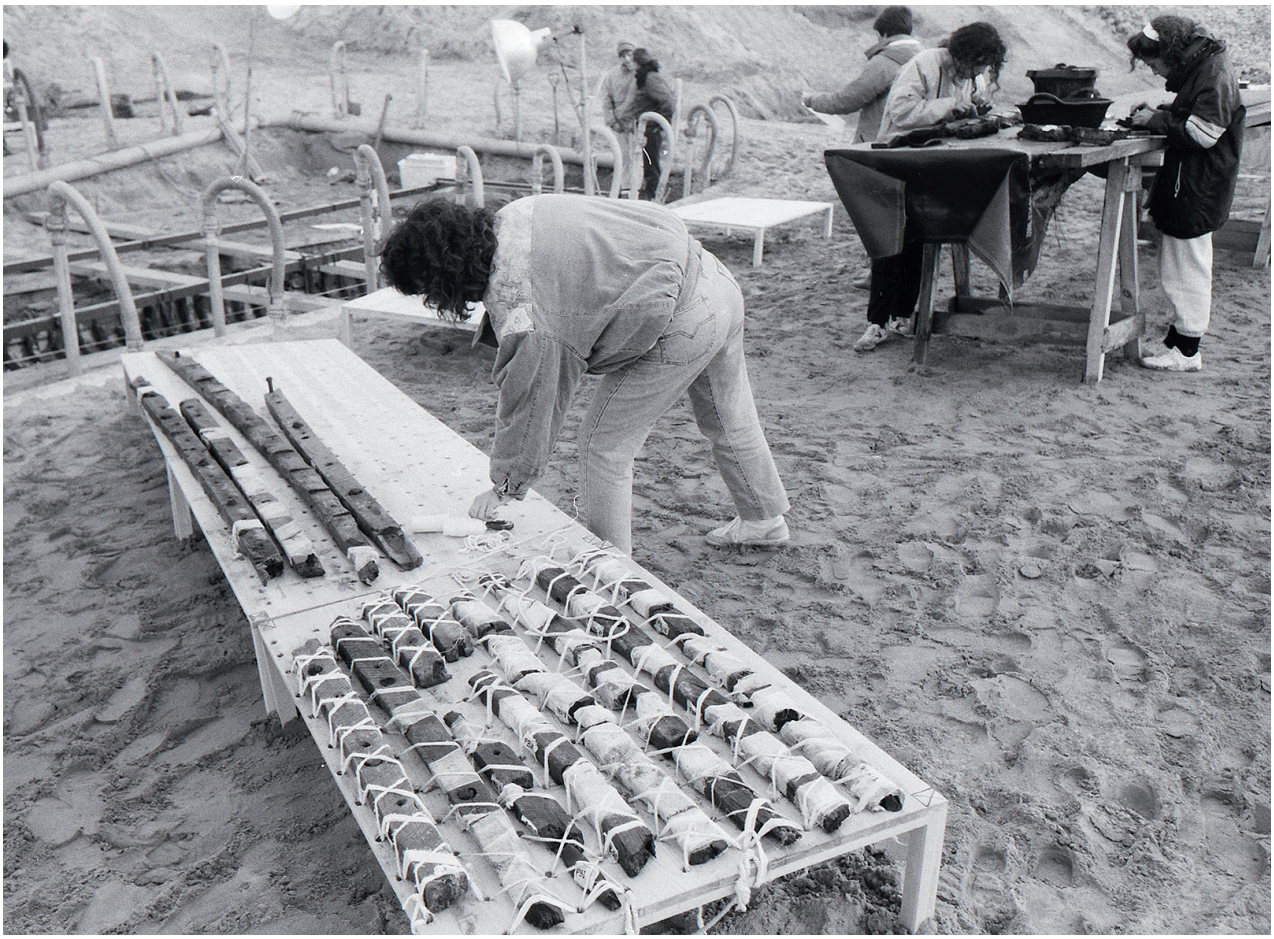


Figura 1. Vista general en la misma excavación del proceso de limpieza y almacenamiento en los soportes de madera para el tratamiento del pecio de *Les Sorres X*.

Los elementos fragmentados de una misma pieza se unieron con palillos de madera, clavados a ambos lados de cada fragmento en un numero de dos o tres. Algunos fragmentos se engasaron.

Mientras duraron estos trabajos se mantuvo siempre el grado de humedad en las maderas, mojándolas con agua del propio canal ubicado al lado del yacimiento transportada con mangueras.

Al mismo tiempo se iba dibujando cada pieza a escala 1:1 por ambas caras resiguiendo el contorno, en papel poliéster y rotuladores resistentes al agua. Se señalaron en estos calcos los elementos de fijación, sus negativos, grietas y fisuras, marcas e incisiones.

Se ordenaron todos los elementos del barco en soportes de madera de 130 x 90 cm, con unas patas de 20 cm perforadas, que se utilizaron para su sujeción y para facilitar la circulación del PEG 4000 en el baño durante el tratamiento de impregnación.

Se calculó el volumen de las maderas y de los soportes, aproximadamente, 2 m^3 de madera, para poder conocer las dimensiones necesarias para construir el depósito de tratamiento.

Se depositaron todas las maderas dentro del depósito, en los soportes, calzando cada uno para evitar desplazamientos y roces dentro de este durante el traslado.

Finalizada la excavación se transportó el depósito al CASC para realizar el tratamiento de consolidación y estabilización. El pecio permaneció desalándose en este depósito casi un año.

El tratamiento llevado a cabo para la conservación del pecio fue por inmersión en PEG. Se escogió este tratamiento por los siguientes condicionantes:

- Las dimensiones del pecio, el grado de fragmentación y la cantidad de fragmentos pequeños y de reducido grosor.
- El grado de degradación era muy elevado, es decir el contenido en agua era entre 200 y 400 % (referido a peso en seco). Esto suponía una desaparición total de la celulosa y de la hemicelulosa.
- La no disposición de un liofilizador en el CASC, y no disponer de presupuesto, debido a su elevado coste, para adquirirlo y realizar un secado por liofilización, en esos momentos.

Una vez desaladas las maderas en el depósito con agua dulce se extrajeron previamente al inicio del tratamiento de consolidación, para volverlas a limpiar y reposicionar en las tablas de sujeción. Estas se recolocaban dentro del depósito en filas de cuatro formando hasta un total de 4 pisos. Se fijaron por la cara superior a unos travesaños que se encontraban en la cara interior del depósito, o sea cada piso quedaba asegurado por unas guías longitudinales y transversales, cosa que impedía que pudieran flotar durante el tratamiento.

Los elementos más largos, como la quilla, la tabla de quilla y sobrequilla, y algunas tablas de forro, se colocaron encima de unos soportes alargados de un máximo de 380 cm y se dejaron en el fondo del depósito.

En la parte superior se colocaron unas piezas que sirvieron de control durante todo el tratamiento. Se escogieron diferentes elementos representativos de la totalidad de los que eran más resistentes a la penetración del PEG y que marcarían la dinámica del proceso, especies como el roble y la encina (usados para las cuadernas), o bien por su tamaño (como la carlinga).

Se inició el proceso con un 10 % de PEG en el baño a una temperatura de 13 °C y progresivamente se fue incrementando a 60 °C, que prevalecieron durante todo el tratamiento. El incremento de PEG mientras duró la fase de adaptación de las maderas a la temperatura de tratamiento, fue de un 1 % semanal.

Una vez estabilizada la temperatura a 60 °C y controlando la evaporación de la solución para mantener el nivel, se fue añadiendo PEG dos veces por semana, a razón de un 1 % hasta alcanzar una concentración del 30 %. Cada semana se calculaba la concentración de PEG en el baño y en función del resultado se agregaban los kilogramos correctos para no alterar la dinámica de incorporación de la cera.

La evaporación del agua en el baño se mantuvo constante durante prácticamente todo el tratamiento. Al principio la tendencia era de aumento, por lo que se dejó la tapa del depósito entreabierta, para favorecer la evaporación y mantener el nivel del agua. Posteriormente esta dinámica se invirtió y se rectificó, colocando plásticos para evitar fugas.

La concentración de PEG en el baño se calculaba tomando muestras por duplicado, en capsulas Petri taradas, y por diferencia de pesada se obtenía la pérdida de agua.

Para calcular el porcentaje de PEG se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ PEG} = 100 - \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} * 100$$

El tiempo que permaneció la muestra en el desecador variaba entre 4 y 8 horas a una temperatura entre los 80 y 100 °C.

Después de 72 semanas, se llegó al 87,8 % de concentración. A partir de este momento se incrementó la concentración mediante evaporación controlada, sin añadir consolidante, llegando a una densidad del 90 % de PEG en el baño al final del proceso.

Los fragmentos extraídos del baño, ya limpios, se ordenaron completando cada elemento y posteriormente se cubrieron con un plástico, para lograr una evaporación no demasiado rápida de la humedad, hasta alcanzar la relativa del ambiente.

Las maderas así tratadas, después de un tiempo de adaptación al nuevo medio, se pudieron manipular y con la ayuda de los dibujos realizados en la misma excavación se identificaron todos los fragmentos y se unieron con grapas elaboradas con cuerda de piano (alambre de acero inoxidable fino y muy resistente). Finalizado este proceso se inició la fase de clasificación, mediciones, control de peso, fotografías, numeración, marcado de rupturas, señales hechas por el carpintero de ribera y elementos de fijación.

Finalmente se embalaron en plástico de burbujas «air-cap» referenciando el nombre y la numeración de cada elemento, con su correspondiente inventario.

El pecio de *Les Sorres X* se almacenó en el CASC junto a toda la documentación, generada tanto en el proceso de excavación como de conservación. En el año 2018, a través de un acuerdo con el Museu Marítim de Barcelona, el pecio fue remontado a este museo, donde se encuentra expuesto actualmente (Geli, Vila y Camps, 2020, pp. 36-41).

Barceloneta I

El yacimiento *Barceloneta I* constituye un fragmento del costado del casco de un barco de construcción a tingladillo con cronología del siglo xv. Para su extracción se optó por el desmontaje primero del forro en bloques y posteriormente de las cuadernas, y no por su extracción en bloque por los siguientes condicionantes:

– Se tenía que girar la embarcación, maniobra que no estaba exenta de riesgo.

- Se requería de una compleja estructura metálica.
- Era necesaria la construcción de un depósito especial de acero inoxidable, con sistema de calefacción, bomba y de un almacén para colocarlo del que no se disponía.
- Las andanas del forro estaban mal preservadas, conservándose solamente cinco, y las demás, solo parcialmente.
- Probablemente el barco se hubiera tenido que desmontar para pasar por la puerta del museo.

Todas estas premisas hicieron que se tomara la decisión de desmontarlo, ya que el laboratorio del CASC disponía de toda la infraestructura necesaria para llevar a término la conservación, reduciéndose de manera notable los costes y con total garantía para las piezas.

Para el desmontaje del pecio se serraron algunas clavijas para poder separar las tracas del forro de las cuadernas. Se registraron todas las maderas y se lavaron con agua corriente y cepillos. Por último, se sobrepusieron encima de unos tableros marinos cortados a la medida de cada elemento envueltos en un plástico transparente para que no perdieran humedad durante el traslado al laboratorio del MAC-CASC (Molinas, 2010, p. 138).

Los trabajos se ejecutaron desde el año 2008, momento en que las maderas llegaron directamente del yacimiento al laboratorio para introducirlas en los depósitos con agua dulce, hasta el año 2015, cuando se trasladó el pecio conservado al Museu Marítim de Barcelona para terminar el proceso de estabilización a temperatura y humedad ambiente.

Todos los elementos del pecio llegaron embalados en plásticos cerrados y acomodados sobre soportes de tablero marino etiquetados con el número arqueológico marcado en dymo® manual de acero inoxidable y clavado con alambre de acero inoxidable a las maderas.

Además, se dibujaron en la excavación a escala 1:1 encima de un plástico transparente resiguiendo el contorno, donde se marcaron todos los detalles (elementos de fijación, agujeros, marcas, grietas).

En un primer momento se analizó el estado de conservación, se midieron y se tomaron diferentes muestras para diagnosticar el porcentaje de contenido de agua en las maderas. Seguidamente se sumergieron en los depósitos del laboratorio del MAC-CASC, en agua del grifo a la espera de iniciar la limpieza y tratamiento.

En esta fase se realizaron varios cambios de agua, pero quedaron contaminados por organismos vivos, por lo que se decidió añadir un fungicida en el baño (ANT JB 48, agente biosida órgano sulfurado sin fenol y sin metales pesados). Se agregaron 150 g por cada 1000 l de agua. Esta operación se repitió varias veces.

En el año 2009 se inició la limpieza mecánica y química de todas las maderas que conformaban el pecio. Para la movilización de las maderas de los depósitos se utilizó la grúa del laboratorio y unas cinchas de soporte (Figura 2). Las maderas se iban colocando en la mesa de trabajo de elementos mojados, o en mesas preparadas en el exterior, en el patio. Se utilizaron mangueras con agua del grifo, cepillos de nilón de diferentes formatos y durezas desiguales, espátulas de madera, bisturís fijos o de hoja recambiable, punzones de metal y de madera, ultrasonido, retirando la brea que recubría las maderas para impermeabilizarlas y que no permitiría la penetración del consolidante. También se limpió la arena, el lodo, las piedras y otros restos procedentes del sedimento de la excavación; también se eliminaron los restos de óxidos de hierro de los negativos de los elementos de fijación de hierro, para minimizar al máximo los problemas de acidificación de la madera.



Figura 2. Extracción de las maderas del pecio *Barceloneta I* del depósito de tratamiento para la limpieza.

En el momento de la limpieza se unieron los diversos elementos en que se habían fragmentado las diferentes piezas que conformaban el pecio con grapas y alambre de acero inoxidable. También se revisaron los dibujos realizados en la excavación, verificando el número de inventario o de registro arqueológico, los negativos de agujeros de clavos, clavillas, marcas, grietas, fisuras y roturas.

Simultáneamente se tomaron más muestras de los diversos elementos (11 muestras de cuadernas y 9 de tracas). Este muestreo sirvió para conocer el porcentaje de agua contenida en las maderas para valorar el estado de conservación de manera aproximada.

Para conocer el porcentaje de contenido en agua, se colocó la muestra húmeda en una cápsula Petri previamente tarada, y se pesó en la balanza de precisión, y acto seguido se introdujo dentro del desecador a 80 °C durante 4 horas. Pasado este tiempo se volvió a pesar la muestra seca y se aplicó la siguiente fórmula matemática:

$$H = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} * 100$$

El resultado de las cuadernas va desde 1152,02 % a 414,75 % de contenido en agua. Las tracas de 726 % a 166,09 % de contenido en agua.

También se aprovecharon las muestras para el estudio taxonómico de las maderas, para conocer las especies usadas para cada elemento.

Finalmente se colocaron las maderas en el depósito de tratamiento, explicado con anterioridad, y que era el mismo que se usó para el pecio de *Les Sorres X*.

En su interior se disponían unas barras de madera de pino, en sentido horizontal, con una anchura de 150 cm y un grueso de 4 cm, para construir los distintos pisos para colocar las maderas. Cada uno de los extremos de la barra se perforaba con un agujero de unos 3 mm, por el cual se sujetaban a las barras de metal en forma de T que se encontraban en los laterales largos del depósito, con una espiga de 2 mm de acero inoxidable, la cual estaba previamente agujereada a diferentes niveles.

Cada barra de acero inoxidable vertical se listaba del 1 al 5 y las barras de madera horizontales se enumeraban siguiendo el número de la barra vertical. De esta manera en el primer piso se formó la secuencia 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6; en el segundo, 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, y así sucesivamente hasta formar 4 pisos.

Encima de estas barras horizontales se distribuyeron planchas de madera de pino amachimbrado fijadas con un tornillo de acero inoxidable a la barra horizontal, para evitar la flotabilidad positiva, creando una plataforma horizontal. Esta plataforma se perforó cada 10 centímetros para facilitar la circulación del PEG. En todo el perímetro del depósito se dejaron unos espacios entre la plataforma de madera y las paredes del depósito para respetar la dilatación de la madera nueva.

Las maderas estuvieron durante dos años y nueve meses en agua del grifo para proceder al tratamiento de eliminación de las sales. Se efectuaron diferentes lecturas de conductividad eléctrica dentro del baño, para conocer la salinidad de la solución con un conductímetro hasta que la conductividad permaneció estable, a 500 microSiemens/cm.

El proceso de consolidación empezó el 24 de noviembre de 2011 con la introducción de 6000 litros de H_2O destilada y 600 kg de PEG 4000 (10 % de PEG). Se mantuvo esta concentración aproximadamente durante 2 meses a temperatura ambiente. Pasados estos dos meses se fue agregando PEG 4000 a razón de un 0,5/1 % semanal, hasta alcanzar una concentración final, de 76,7 %. Este procedimiento se prolongó durante tres años, desde noviembre de 2011 hasta noviembre de 2014.

Semanalmente se calculaba la concentración de PEG dentro del baño. Se tomaba una muestra del líquido dentro de una cápsula Petri, previamente tarada, se pesaba. Seguidamente se introducía dentro del desecador a una temperatura de 85 °C durante 4 horas. Una vez seca se volvía a pesar y se aplicaba la fórmula matemática antes descrita para el barco de *Les Sorres X*.

Mientras duró el tratamiento, las resistencias del depósito se programaron a una temperatura de 55 °C para que el PEG no se endureciera, ya que, a partir de una concentración mayor al 60 % solidificaría. Además, se logró una mayor penetración de la cera, dentro de la estructura de la madera, y la obstaculización del desarrollo de microorganismos en el baño.

La bomba para la recirculación del baño se programó, dos veces al día durante una hora, para lograr un reparto equitativo del producto en todo el tanque. El equipo estaba provisto de un sistema de alarma, programado a 30 °C, por si acaso el termostato fallara, la bomba se pararía y no se estropearía.

Cada semana se llevó un control de la evaporación de la solución. El nivel del agua se hallaba a unos 26 cm del techo del depósito. Este se debía preservar para impedir una evaporación demasiado rápida o demasiado lenta, pues con la introducción hebdomadaria del producto la velocidad de penetración del PEG en las maderas no es siempre semejante. La capacidad de absorción de las maderas de naturaleza más dura y de mayor volumen influye, pero se tiene que asegurar un equilibrio entre el incremento de la concentración dentro del baño y las maderas, para que la impregnación se realice de manera homogénea en todas ellas.

Se escogieron cuatro maderas, que se denominaron maderas testigo (Michel y Klausener, 1999, p. 50), para llevar el control de penetración del PEG semanalmente, ya que los distintos elementos que conforman el conjunto de la barca se podían comportar de manera diferente, fruto de su naturaleza, su estado de conservación, su diferencia morfológica...

Se eligieron la cuaderna BM-Q6, pieza bastante gruesa y dura, la traca BM-*TSN-N, pieza pequeña y muy blanda, las tracas BM-T3 y BM-T1, piezas muy delgadas y duras. Estas se colocaron encima de una plataforma móvil con cuatro ganchos unidos a cada uno de los extremos a unas cadenas y a un garfio, para poderlas sacar del baño con facilidad con la ayuda de la grúa.

En estos testigos, semanalmente y hasta el final del tratamiento, se tomaron medidas en los diferentes sentidos de la madera (longitudinal, transversal y tangencial), para registrar si se generaban movimientos, contracciones, disminuciones.

Se fijaron unos tornillos de acero inoxidable en dos de las maderas que se utilizaron como puntos de apoyo, midiendo la distancia entre estos dos puntos.

Se pesaba cada testigo, para advertir un peso constante en las maderas, controlando que no perdieran o tomaran demasiado peso.

Se superponían los testigos encima de los dibujos originales realizados de cada uno sobre papel poliéster, a escala 1:1, para localizar fácilmente nuevas grietas, fisuras, posibles encogimientos, distorsiones…

La impregnación fue gradual, introduciendo el PEG en las maderas lentamente para asegurar que las estructuras celulares no colapsaran. La proporción final de concentración después de tres años era del 76 %.

Terminado el tratamiento de impregnación de PEG, se inició el proceso de eliminación del excedente. Se extrajeron los diferentes elementos del pecio del depósito individualmente con la ayuda de la grúa. Se instalaron encima de la mesa de trabajo, para proceder mediante agua caliente y esponjas naturales a la eliminación del residuo de PEG depositado en la superficie de las maderas.

Al mismo tiempo que se extrajo el PEG, se aprovechó su propiedad lubricante y el calor generado durante el tratamiento, para devolver ciertas formas a las maderas de manera progresiva y con la ayuda de sargentos. Cada una de las piezas se pesaron para comprobar el peso final y compararlo con el inicial.

Las diferentes partes que conformaban el pecio, limpias del excedente de PEG, se colocaron dentro de un recinto cerrado, para su estabilización o secado controlado hasta alcanzar la temperatura y humedad ambiente, además de eliminar el 25 % de agua que todavía restaba dentro de las maderas. Esto se consiguió efectuando una evaporación controlada durante un periodo de un año, permitiendo que las maderas se fueran acomodando a la temperatura y humedad ambiente de forma paulatina, evitando tensiones mecánicas entre las zonas periféricas y el interior.

Al inicio de la estabilización, dentro del perímetro, se mantuvo una humedad del 90-80 %, aproximadamente, y se fue reduciendo lenta y progresivamente hasta llegar a un 60-55 %.

Par llevar a cabo este proceso de estabilización, se construyó un invernadero provisional en el laboratorio del MAC-CASC. La estructura estaba realizada con listones de maderas que sirvieron como apoyo para instalar el plástico opaco de color negro. En el suelo se instalaron unos palés de plástico y encima de estos unas planchas de polietileno de 1 cm de grosor. Las piezas se dispu-

sieron en estanterías de madera con una plancha de polietileno de 1 cm de grosor superponiendo varios pisos.

Para mantener la humedad dentro del recinto se dispusieron unas cajas de plástico con agua dentro y unos humificadores de ultrasonido conectados a unos temporizadores para regular el índice de humedad que se quería mantener. También se instalaron 3 Dattalloger, para monitorizar la humedad y temperatura del interior del recinto.

Después de tres meses y medio dentro de la cámara provisional de estabilización, el pecio se trasladó al Museu Marítim de Barcelona, donde acabaría el proceso de secado controlado. El traslado desde el MAC-CASC se realizó con un soporte de madera de pino a medida para estibar todos los elementos. Estaba compuesto de cinco pisos y medio, con unas ruedas de nailon en la base, para poder moverlo con facilidad. Todos los elementos se envolvieron aisladamente uno por uno, con plástico de burbujas y de espuma de polietileno como soporte.

Una vez cargados en el camión grúa, la estructura y las cuadernas se envolvieron con plástico negro para que las maderas conservaran la mayor humedad posible durante el traslado y no se vieran afectadas por la luz solar.

En el Museu Marítim se acondicionó una habitación como cámara para realizar la estabilización y/o secado controlado a humedad y temperatura ambiente. La construcción de esta cámara era similar a la realizada en el laboratorio del MAC-CASC. La estructura era de madera y plástico negro para cerrarla. Se dejaron dos puertas de acceso con aperturas con cinta de Velcro ®, para permitir abrir y cerrar el acceso tantas veces como fuera indispensable, y al mismo tiempo mantener la sala cerrada para que no pierda humedad.

Dentro se colocaron 6 humidificadores de ultrasonidos repartidos por todo el invernáculo, alzados del suelo dentro de recipientes llenos de agua osmotizada. A la vez, estos se colocaron dentro de otros receptáculos (cajas grises de plástico), para recoger el agua que caía de los humificadores. Estos dispositivos se conectaron a la corriente eléctrica a través de un temporizador, que regía las horas de funcionamiento.

Se distribuyeron también varios Dattalloger dentro y fuera del recinto de estabilización, los cuales aportaban la información necesaria para establecer las pautas de humedad y temperatura semanales. La evolución de los resultados de los registros de humedad y temperatura se hizo una vez a la semana (Figura 3).

MES	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
HR (%)	79,44	79,83	78,88	80,24	82,68	78,33	74,26	71,05	69,12	67,15	63,74	59,87
					85,5	79,5	75,10	70,9	70	63,2	60,2	
				75,72								
				81,5								
T (ºC)	16,98	16,13	16,09	17,29	21,70	22,12	22,48	22,98	23,83	23,28	22,35	21,50
					21,9	22,5	23,1	24,3	24	22,2	22,4	
				21,54								
				18,2								

Figura 3. Tabla de estabilización. Los datos destacados en rojo son del momento inicial (el pecio se encuentra dentro de la cámara de estabilización en el laboratorio del MAC-CASC). Los datos que se destacan en azul son proporcionados por los Dattallogers (Confort-Software V3) situados en el interior de la cámara de estabilización (el pecio está ya en el Museu Marítim de Barcelona). Los datos que se destacan en verde son proporcionados por los Dattalloger fuera del recinto de estabilización en la sala circundante, en el MMB.

En resumen, en el mes de diciembre de 2014, cuando se inició el proceso de estabilización del pecio *Barceloneta I,* se empezó con un porcentaje de humedad muy elevado —entre el 90 y el 80 %— y se fue disminuyendo progresivamente, hasta el mes de noviembre de 2015, llegando al 59,87 %. Lo destacable de este sistema es que las maderas se fueron asentando poco a poco al medio atmosférico habitual. Esta fase se produjo de modo escalonado, planificando la puesta en marcha de los humidificadores durante más o menos horas, es decir, a medida que disminuía la humedad, los humidificadores trabajaban menos tiempo.

Aparte de examinar la climatización del recinto de estabilización semanalmente, se siguió realizando una verificación de la evolución de las maderas testigos una vez por semana. Se verificó la pérdida de masa por pesada y se tomaron medidas en los diferentes sentidos de la madera. Se comprobó la tasa de humedad en el interior de la madera con un testo 606-1®. Se fotografiaron todos los testigos. Se regularizó el tiempo de funcionamiento de los humificadores, para ir disminuyendo la humedad dentro del recinto. También se añadió agua en los recipientes de plástico cuando se requirió.

Cabe destacar que los trabajos de conservación de las maderas arqueológicas del pecio *Barceloneta I* se iniciaron en 2008 con el hallazgo y su excavación, para continuar con su traslado al Centro de Arqueología Subacuática de Cataluña para empezar el tratamiento de eliminación de sales y de impregnación a saturación con Polyetienglicol, donde permanecieron hasta el mes de marzo de 2015. Después las maderas fueron trasladadas al Museu Marítim de Barcelona para llevar a cabo el proceso de secado controlado y/o estabilización, que finalizó en el mes de noviembre de 2015.

El proceso descrito comportó un camino de siete años (2008-2015). La conservación de un pecio de estas características implica un trabajo ingente, para el cual es necesario un presupuesto extraordinario y la implicación de técnicos especialistas y varias instituciones. Actualmente el pecio se encuentra expuesto al público en el Museo de Historia de Barcelona (MUHBA).

La conservación de los pecios de la Plaça dels Carros

Durante la excavación de los dos pecios de la Plaça dels Carros y a medida que se fueron extrayendo las maderas, previamente serradas a la medida del liofilizador del MAC-CASC, se sometieron a un lavado con agua del grifo con la ayuda de cepillos de nailon y pinceles para extraer el máximo de sedimento procedente del subsuelo de la excavación, siempre manteniendo las piezas húmedas.

Al mismo tiempo se colocó un número de marcaje, para identificar e individualizar todas las piezas que conformaban los pecios con un plástico rígido de color blanco. Una vez limpias y etiquetadas cada una de las maderas se embalaron con un plástico tubular transparente, termosellado con agua en su interior para conservar la humedad y evitar, así, que las maderas empapadas de agua se secaran durante el traslado. Este se realizó con una camilla específica para cada pieza, asegurando y facilitando su manipulación.

Las maderas de los dos barcos, junto con 13 objetos asociados a estos, se trasladaron desde Tarragona al laboratorio del MAC-CASC en una furgoneta, en la cual se montaron pisos realizados con tablas de madera.

Las piezas se desembalaron de su envoltorio y se sustituyó el sistema de etiquetado de la excavación (manteniendo la numeración o código) debido al tratamiento que se requería aplicar. El nuevo etiquetado se realizó con un «Dymo» manual con cinta de plástico y se fijó a cada elemento con alambre de acero inoxidable.

Las maderas fragmentadas que constituían partes de un mismo elemento se etiquetaron cada una con la misma numeración o bien se colocaron los diferentes fragmentos dentro de una malla, con una misma etiqueta.

Posteriormente se colocó el material arqueológico dentro de los depósitos 3, 4, 9 y 10, formando pisos con unos pequeños tablones colocados verticalmente y unas planchas de madera horizontales intentando introducir el máximo de maderas en todos los pisos (Figura 4).

Después se llenaron de agua los depósitos para efectuar el control de salinidad. Se fueron realizando cambios periódicos de agua para ir extrayendo de manera gradual las sales. Se realizaron diferentes lecturas de conductividad eléctrica, para determinar la salinidad de la solución con la ayuda de un conductímetro Crison, CM 35.

En este proceso también se realizó una eliminación de las posibles bacterias u hongos que pudieran llevar las maderas y que podrían interactuar con el proceso de conservación. Este tratamiento se realizó con la ayuda de una bomba móvil Baico Taupo Ms 2-30m.



Figura 4. Configuración de los pisos para situar los diferentes elementos de los pecios de la Plaça dels Carros para el tratamiento.

Las maderas permanecieron sumergidas durante un total de 11 meses, tras los cuales se consideró que el control de salinidad había finalizado, puesto que había alcanzado una lectura constante de 562 microSiemes/cm.

Finalizado el desalado se prepararon las piezas para iniciar el proceso de secado por liofilización. Se fueron extrayendo las piezas de los depósitos y se realizó una última limpieza de cada una, quedando preparadas para el pretratamiento. Se procedió a medirlas y a pesarlas en las básculas Cobos Precision G-6000, y Sipesa SIP 1000, teniendo la precaución de mantenerlas mojadas en todo momento.

Seguidamente se prepararon los depósitos con diferentes pisos para colocar el máximo de maderas posibles, dejando un margen entre ellos para que el consolidante pudiera circular con más facilidad alcanzando todas las zonas. Estos pisos se construyeron con madera de pino perforado y se fijaron a los laterales de los depósitos. Una vez montados los pisos se fotografiaron y se dibujó un croquis localizando cada elemento arqueológico, mostrando su disposición o ubicación en cada depósito.

El tratamiento aplicado para la conservación de los dos pecios fue la liofilización, aplicando el principio físico de la sublimación. El agua contenida dentro de las maderas se congela y por liofilización esta pasa de estado sólido a gaseoso sin pasar por estado líquido, evitando así la ruptura de las estructuras celulares por fenómenos de tensión superficial.

Este método por sí solo no es suficiente para tratar las maderas empapadas de agua, puesto que no consolida, por eso se compagina con un pretratamiento parcial con PEG (polietilenglycol) para impregnar las paredes celulares y rellenar el lumen de las células. Este pretratamiento se realizó en dos fases:

En la primera fase, las maderas se sumergieron dentro de un baño de PEG de un peso molecular 400 al 20 %. Este actúa como cryoprotector (evitando la formación de grandes cristales, reduciendo notablemente la expansión del agua en el momento de congelación, limitando considerablemente la expansión volumétrica).

En una segunda fase, las maderas pasaron a un baño de PEG de un peso molecular 4000 al 20 %, 30 % y 35 % porcentaje que finalmente actuará como consolidante. Este proceso se realizó a temperatura ambiente.

El siguiente paso fue la congelación de las maderas, pero previamente se eliminó el excedente de PEG en superficie con la ayuda de esponjas naturales y agua caliente, además de papel celulósico. A continuación, se colocaron dentro del congelador Coolwork, 700CHV donde permanecieron una semana a una temperatura de -30 °C.

Congeladas las piezas, se introdujeron dentro del recinto del liofilizador, donde se realizó el secado, mediante el fenómeno físico de la sublimación del agua congelada, bajo vacío (Figura 5).



Figura 5. Maderas dentro del recinto de liofilización.

El liofilizador del laboratorio del CASC en el momento del tratamiento estaba formado por dos bombas de vacío Liolfa 6-50 y 6-80, y una cámara de vacío de la casa Telstar, controlado por el cuadro de control y regulación Liobar Eurotherm 903-p.

Este proceso se monitorizó por unas sondas de temperatura introducidas directamente en la madera a través de un pequeño agujero realizado anteriormente con una broca y la ayuda del taladro. Cuando la temperatura de las maderas se igualó con la temperatura ambiente el proceso se dio por finalizado.

Una vez retiradas las maderas del liofilizador, se procedió a extraer el excedente de PEG emergido durante el proceso. Se limpiaron las maderas con cepillos de nailon y con la ayuda de un ventilador de aire Leister.

Terminado todo el procedimiento, los dos pecios se almacenaron temporalmente, en el almacén del MAC-CASC, recubiertas de material inerte, tyvek®, a la espera de su restauración, traslado y montaje en el Museu del Port de Tarragona.

En resumen, la fragilidad del material orgánico empapado de agua exige de una acción conjunta entre arqueólogos y conservadores en el momento de su hallazgo. Las pautas seguidas, durante la excavación, son tanto o más significativas que el posterior tratamiento en el laboratorio. También hay que tener en cuenta otros factores, como el enclave donde irá depositado o expuesto el pecio, así como el proyecto museográfico.

En el caso de estos cuatro pecios ha sido crucial el trabajo que se ha realizado durante el proceso de excavación y de extracción de las piezas, pues han favorecido los buenos resultados obtenidos en los tratamientos de conservación.

Igual de importante es que, una vez acabado el tratamiento de conservación, estas piezas tienen que continuar bajo control, debiendo dotarlas de un medio lo más estable posible.

Agradecimientos

A Anna Jover Armengol, que me encaminó en los conocimientos aplicados a la conservación de material orgánico sumergido.

Al Centro ARC-Nucléart, por enseñarme los procesos de secado controlado y estabilización de las maderas.

A Xavier Nieto, Gustau Vivar i Rut Geli por la confianza depositada en mí.

Bibliografía

Aguer, C. (2012). Baluard del Migdia. Conservació del derelicte i del pou. *Anuari d'Arqueologia i Patrimoni de Barcelona* (pp.185-188).

Aguer, C. (2014). Baluard del Migdia. Conservació del derelicte i del pou (II). *Anuari d'Arqueologia i Patrimoni de Barcelona* (pp. 252-253).

Aguer, C. (2015). Baluard del Migdia. Conservació del derelicte i del pou (III). *Anuari d'Arqueologia i Patrimoni de Barcelona* (pp. 229-231).

Bru, M. (2014). Las intervenciones arqueológicas realizadas en la Plaça dels Carros de Tarragona: el puerto de Tarragona y sus embarcaciones. *Actas del I Congreso de Arqueología Naútica y Subacuática Española*, *Cartagena, 14, 15 y 16 de marzo de 2013, vol. I* (pp. 485-494).

Geli, R., Vila, A. y Camps, A. (2020). El derelicte de Les Sorres X. El primer vaixell arqueològic exposat a Catalunya. *Argo*, 6, 36-41.

Jover A. (1994). La consolidación de la madera empapada de la barca de Les Sorres X, Castelldefels (Baix Llobregat). *X Congreso de conservación y restauración de Bienes culturales*, *29 de septiembre-2 de octubre de 1994, Cuenca*.

Jover, A. (2009). Els materials orgànics: de l'excavació al laboratori. Conservació amb PEG a saturació. En X. Nieto y M. A. Cau (Eds.), *Arqueologia Nàutica Mediterrània* (pp. 627-630). Monografies del CASC 8.

Michel, C. y Klausener, M. (1999). *Conservation et restauration de deux embarcations gallo-romaines mises au jour à Yverdon-les-Bains (Canton de Vaud, Suisse): Traitements au polyéthyléneglycol (PEG) des bois gorges d'eau* (pp. 23-50). Lausanne: Musée Cantonal d'Archéologie et d'Histoire de Lausanne.

Molinas, M. (2011). Baluard del Migdia. *Anuari d'Arqueologia i patrimoni de Barcelona 2010* (pp. 136-142).

Pearson, C. (1987). *Conservation of Marine Archeological Objects*. Butterworths & Co.

Raurich, X., Pujol, M., Martín, A., Jover, A., Izquierdo, P. y Garrido, E. (2012). *Les Sorres X. Un vaixell medieval al Canal Olímpic de Rem, Castelldefels, Baix Llobregat*. Generalitat de Catalunya. Departament de Cultura.

Sierra, J. L. (2003). La conservación de la madera arqueología subacuática. *Monte Buciero*, 9, 248-249.

Soberón, M. (2010). El port baix medieval de la ciutat de Barcelona: una visió des de l'arqueologia. L'escullera de 1477 i la troballa d'un vaixell tinglat. *QUARHIS*, II, 6, 134-163.

Soberón, M., Pujol, M., Llergo, Y., Riera, S., Julià, R. y Domínguez, M. (2012). El Barceloneta I. Una embarcación medieval a tingladillo en Barcelona. *Itsas memoria*. *Revista de estudios marítimos del País Vasco*, 7, 411-422.

El pecio de *Urbieta* (Gernika, Bizkaia): Una embarcación a tingladillo del siglo XV en el País Vasco. Análisis del proyecto en el 25 aniversario de su hallazgo

Laura García Boullosa
Arkeologi Museoa. Museo de Arqueología de Bizkaia
arkeologimuseoa.teknikari4@bizkaia.eus

Resumen: *Urbieta* es una embarcación de cabotaje de porte medio, de unos tres metros de manga y once de eslora, datada por carbono 14 (C^{14}) en 1460-1470. Construida con la tecnología de casco previo a tingladillo que se desarrolló entre los siglos XII al XV en todo el Arco Atlántico. Cuando se produjo su hallazgo, en 1998, su estructura de madera se mantenía cosida con multitud de clavos de hierro en un estado de conservación excepcional, situación que impulsó al equipo a tomar una difícil decisión: la extracción de la embarcación en el bloque de sedimento circundante para así realizar un proceso de consolidación con PEG de todo el conjunto. El tratamiento realizado consistió en una consolidación a saturación seguido de un secado controlado. Posteriormente se recuperó la forma y se creó la estructura que permite su exhibición y ayuda a comprender sus dimensiones. La embarcación de *Urbieta* es un documento arqueológico único y en ella pueden leerse detalles de una tradición naval común que aparecen en otros barcos de origen vasco o cantábrico. En este artículo se recogen algunos de los datos publicados referentes a su tecnología naval, así como los pormenores de su tratamiento, todavía inéditos. Además, se incluye el plan de conservación preventiva: las tareas de monitorización y mantenimiento y los riesgos a los que nos enfrentamos para su conservación a largo plazo.

Palabras clave: tingladillo, extracción en bloque, construcción naval, PEG, conservación preventiva.

Abstract: *Urbieta* is a medium-sized coastal vessel, about three meters wide and eleven meters long, carbon-dated to 1460-70. It was built with the clinker-built technology, which was developed between the twelfth and the fifteenth centuries throughout the Atlantic Arc. When it was found in 1998, its wooden structure was still sewn with a multitude of iron nails and its state of preservation was exceptional. Such situation prompted the team to make a difficult decision: the lifting of the vessel together with the surrounding block of sediment in order to carry out a consolidation process with PEG of the whole ensemble. The treatment consisted of consolidation until full saturation followed by controlled drying. Subsequently, the shape was recovered and the structure that allows its exhibition and helps to understand its dimensions was created. The *Urbieta* vessel is a unique archaeological document, and details of a common naval tradition that appear in other vessels of Basque or Cantabrian origin can be drawn from it. In this article, some of the published data concerning its naval technology, as well as the details of its treatment (still unpublished) are collected. In addition, the preventive conservation plan is included: the monitoring and maintenance tasks and the risks we face for its long-term conservation.

Keywords: clinker-built, block-lifting, shipbuilding, PEG, preventive conservation.

1. Introducción

El hallazgo en 1998 de una embarcación medieval durante las obras de dragado del río Oka, en Gernika (Bizkaia, País Vasco), supuso un reto para la arqueología vasca. Tras la evaluación inicial del estado de conservación del pecio, los resultados de la datación por radiocarbono fechadas en la segunda mitad del siglo XV, así como su técnica de fabricación —de casco previo a tingladillo—, propiciaron que se considerase como un hallazgo de especial relevancia. Por ello, la Diputación Foral de Bizkaia impulsó un ambicioso proyecto, con el objetivo de recuperar la embarcación, calificada como un documento excepcional para el conocimiento de la historia marítima del Cantábrico.

El proyecto de recuperación de *Urbieta* posibilitó obtener una evidencia material directa del desarrollo de una cultura naval local, tal y como han atestiguado los estudios de especialistas que han participado en su análisis (Rieth e Izaguirre, 2004 y 2018; Rieth, 2006).

El objetivo de este artículo es, por tanto, reunir los datos obtenidos y publicados en estos veinticinco años sobre la chalupa de *Urbieta*. Tras consultar la documentación referida a la excavación, la extracción y conservación, mucha de ella inédita, trataremos de mostrar el complejo proyecto que fue pionero en la arqueología vasca. Además, aportaremos la información referida a su estado de conservación actual.

2. Antecedentes

Es indiscutible que la historia del pueblo vasco está ligada al mar: desde los «arrantzales» a las pesquerías de bacalao o a los balleneros, que se adentraban cada vez más en el mar ante la escasez de ejemplares en el golfo de Bizkaia. El tráfico mercantil y el transporte marítimo han dejado numerosa documentación escrita, sobre todo datos acerca de la tripulación o de las mercancías con la que se comerciaba. Sin embargo, se tenía escasa documentación de los detalles tecnológicos de las embarcaciones fabricadas en el Cantábrico, ya que la tecnología naval no solía registrarse en estos documentos. Era un saber que cada gremio transmitía por tradición oral. Los hallazgos arqueológicos a los que podíamos recurrir para obtener más información eran también escasos, tal y como constatan Alberdi y Aragón (1998, p. 26).

Esta situación comienza a cambiar gracias al trabajo llevado a cabo por Selma Huxley Barham en los años setenta del pasado siglo en multitud de archivos históricos, como el Archivo Histórico de Protocolos de Gipuzkoa, en Oñati, o el Archivo Provincial Histórico de Burgos. El estudio de la documentación permitió a Selma Huxley ubicar los puertos balleneros y los naufragios de galeones vascos en el siglo XVI en las costas de Labrador; entre ellos, el lugar del naufragio del San Juan (1565). Esta valiosa información permitió que unos años después, ya en la década de los ochenta, un equipo de especialistas de Parks Canada bajo la dirección de Robert Grenier y James Tuck, excavaran esta nao ballenera vasca que naufragó en el siglo XVI en Red Bay (Labrador, Canadá) (Loewen, 1996).

En este proyecto internacional colaboró una generación de personas vinculadas a la arqueología del País Vasco, lo que permitió ampliar la conciencia de lo que la arqueología podía aportar al conocimiento de la sociedad y de la tecnología naval de aquella época, además de ampliar el interés de la sociedad por el patrimonio marítimo (Azkarate, Hernández y Nuñez, 1992). La tecnología naval de los siglos XV-XVI presentaba, y presenta, muchas lagunas y, sin embargo, resultó ser fundamental y el motor de las grandes transformaciones que se producen durante estos siglos.

El interés de esta generación de especialistas germina en la adquisición de conocimientos fruto de la colaboración con Parks Canada. Profundizan en la metodología propia de la arqueología náutica y subacuática; procedimientos que difieren de los de la arqueología en medios terrestres.

Uno de estos profesionales apasionados, preocupado por dar luz a la historia de los balleneros vascos en Terranova, fue Manu Izaguirre Lacoste. El hallazgo de la embarcación de *Urbieta* en 1998 no solo fue un hallazgo afortunado e inesperado, también es justo mencionar que es fruto de una serie de circunstancias y personas que hicieron posible que esta embarcación pueda ser hoy contemplada en un museo, 25 años después de su aparición.

3. El hallazgo del pecio de *Urbieta*

El hallazgo del pecio se produce el 23 de julio de 1998, mientras se realizaban unas obras de acondicionamiento hidráulico por parte del Ayuntamiento de Gernika en una zona cercana al casco histórico de la villa, en concreto en un meandro que deja a su paso un afluente del río Oka, «en el paraje denominado Urbieta (zona entre dos aguas), a 4 m de profundidad […]. El seguimiento arqueológico [se efectúa] a propuesta del Ayuntamiento de Gernika, a pesar de que la zona no estaba considerada de presunción arqueológica por el Gobierno Vasco» (Izaguirre y Valdés, 1998, p. 37). Los autores, Izaguirre y Valdés, justifican este seguimiento arqueológico ante el interés municipal causado por la remoción de tierras en la zona conocida como Portuzarra (Puerto Viejo) y la falta de documentación e indicios referentes a la actividad portuaria.

En el momento del hallazgo, «la arqueóloga Argi Díez, responsable del seguimiento, observa que la retroexcavadora extrae del lodo del cauce algunas piezas de madera que sugieren la presencia de un barco» (Izaguirre y Valdés, 1998, pp. 38). Se dispone paralizar cautelarmente los trabajos, hasta la evaluación del hallazgo por parte de personal técnico de la Diputación Foral de Bizkaia, tras lo cual se decide acometer la excavación, asignando una partida presupuestaria. El Ayuntamiento de Gernika también participa en la excavación con una dotación económica.

Datado por carbono 14 (C14) en 1460-1470 (Izaguirre y Valdés, 1998, p. 35), fue el primer barco medieval excavado en el País Vasco (Izaguirre, 2006, p. 91).

Las dimensiones completas de la embarcación se estiman en 4 metros de manga y 11 m de eslora, y aunque no se conserva completa, una amplia zona del costado izquierdo (babor) mantenía todas sus tracas desde la quilla hasta la regala. En cuanto a la construcción naval, se empleó la tecnología de casco previo o «tingladillo», que de manera genérica se desarrolló entre los siglos XII al XV en todo el Arco Atlántico, pero en este caso adaptada con características propias, como veremos en este trabajo más adelante.

La tablazón se consiguió mediante clavos de hierro y cabillas de madera. Los clavos de hierro forjado, o clavos de reviro, son de cabeza redonda y vástago de sección cuadrangular. Se aplicaron desde la parte exterior del barco y, tras pasar por una arandela o pletina de hierro forjado rectangular/romboidal que se sitúa en el interior, el vástago se doblaría en ángulo recto[1]. Hay multitud de clavos de hierro, separados en algunas zonas a escasos 10 cm unos de otros. Estos clavos conservaban el núcleo metálico, lo que aportaba una gran cohesión al conjunto (Izaguirre y Valdés, 1998; Izaguirre, 2005).

Para hacer frente a este complicado proyecto se creó un equipo internacional coordinado por Manu Izaguirre, que organizó los medios técnicos e instalaciones que permitieran la consecución del proyecto. El equipo estaba formado por especialistas de diferentes disciplinas tal y como describe Izaguirre (2006, p. 92): arquitectura naval, conservación de materiales subacuáticos, construcción naval, carpintería de ribera, procedentes de Francia, Portugal, Cataluña y Gipuzkoa.

[1] Los clavos presentan una cabeza de 3,5-3,6 cm de diámetro, y una sección cuadrada del vástago de 0,6-0,8 cm, y de 8-9 cm de largo máximo. Mientras que las platinas eran de 4 x 4 cm o 3 x 3 cm. La disposición de los clavos con sus platinas a modo de remache a lo largo de las tracas del forro no siguen un espaciado regular.

El proyecto se realizó a lo largo de seis años en los que enfrentaron una serie de dificultades: desde la decisión de extraer el pecio en bloque, de tal manera que se pudiera mantener la integridad del conjunto, diseñar un sistema que permitiera la consolidación de la madera —ante la falta de centros de referencia en el País Vasco con infraestructura para realizar este tipo de intervenciones—; o la restitución de la forma original, perdida durante los siglos que permaneció bajo el sedimento.

Reunió por tanto a conservadoras del Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya (CASC), Ana Jover y Caterina Agüer; especialistas vinculados al Centro Nacional de Arqueologia Náutica e Subaquática de Lisboa (CNAS), como Aurelie Montagne, Joao Alves y Miguel Aleluia; expertos en carpintería de ribera, como Xabier Agote Aizpurua y el equipo de Albaola S.L., y el arquitecto naval Marc Ginisty, que, junto con Eric Rieth, experto en arqueología náutica y arquitectura naval, realizaron el estudio para la restitución de formas.

4. Excavación y extracción del pecio en bloque

El pecio se excavó encauzando el arroyo para permitir mantener la zona parcialmente seca y se delimitó una zona de trabajo acondicionada con motobombas y cuatro pozos de drenaje (Izaguirre y Valdés, 1998, p. 38). El barco yacía bajo una capa de sedimento arcilloso muy plástico y deformable «constituido por una secuencia de capas de gravilla rodada de mineral de hierro alternada con finas capas de arena. En el interior de la embarcación existía una zona de mineral que colmataba el interior del casco […] [que] no ocupa una zona simétrica o similar con respecto al eje de crujía de la embarcación, que sería el tipo de colmatación propio de una embarcación venaquera [para el transporte de mineral de hierro]». Los autores proponen, por tanto, que el depósito mineral correspondería a una cronología posterior a la fase de uso, cuando la embarcación estaba ya abandonada y deformada (Izaguirre y Valdés, 1998, p. 38). El hallazgo de mineral en el interior del casco es una cuestión que será abordada más adelante en este trabajo, en relación al estado de conservación actual.

La metodología empleada en la documentación de la embarcación se realizó a partir de «cuadrícula y microfotografía a 10 cm. Para los dibujos de la estructura se empleó el sistema CAD y el pantógrafo para realizar dibujos a escala. Ante la falta de la tecnología actual, el equipo consiguió un globo aerostático para realizar las fotografías cenitales del yacimiento (Figura 1).

El área de trabajo fue cubierta con toldos para evitar el exceso de insolación y la desecación, a la vez que se trasladó un punto de agua para mantener los restos permanentemente mojados por riego. En la zona de trabajo fue instalada una mesa de levigado (criba) para recogida de muestras y recuperación de objetos pequeños» (Izaguirre y Valdés, 1998, p. 38).

Para evitar la posible desecación de las maderas en el nuevo ecosistema, se protegían «tapándolas con polietileno oscuro y regando las partes más expuestas a la luz solar, para mantener un grado de humedad que asegurara la saturación» (Jover, 2005, p. 2).

El cosido de las tracas de madera mediante los clavos de hierro dotaba al conjunto de gran solidez. Esto hacía imposible extraer las maderas de manera individual sin cortar los clavos de reviro que fijaban toda la estructura, algo que se valoró como excesivamente invasivo, tal y como señalan los autores del trabajo, Izaguirre y Valdés (1998, p. 41), «queda patente que dicho aserrado o corte de los clavos supone una clara destrucción de un número muy sustancial de elementos arqueológicos como son los mencionados clavos, al margen del indudable riesgo de deterioro de la madera circundante».

Esta situación impidió la extracción de la estructura de madera en piezas, que era lo que se había proyectado en un principio, y se decidió la extracción en bloque, modificando por tanto el proyecto previo (Rieth e Izaguirre, 2018). La extracción se realizó en el bloque de sedimento circun-

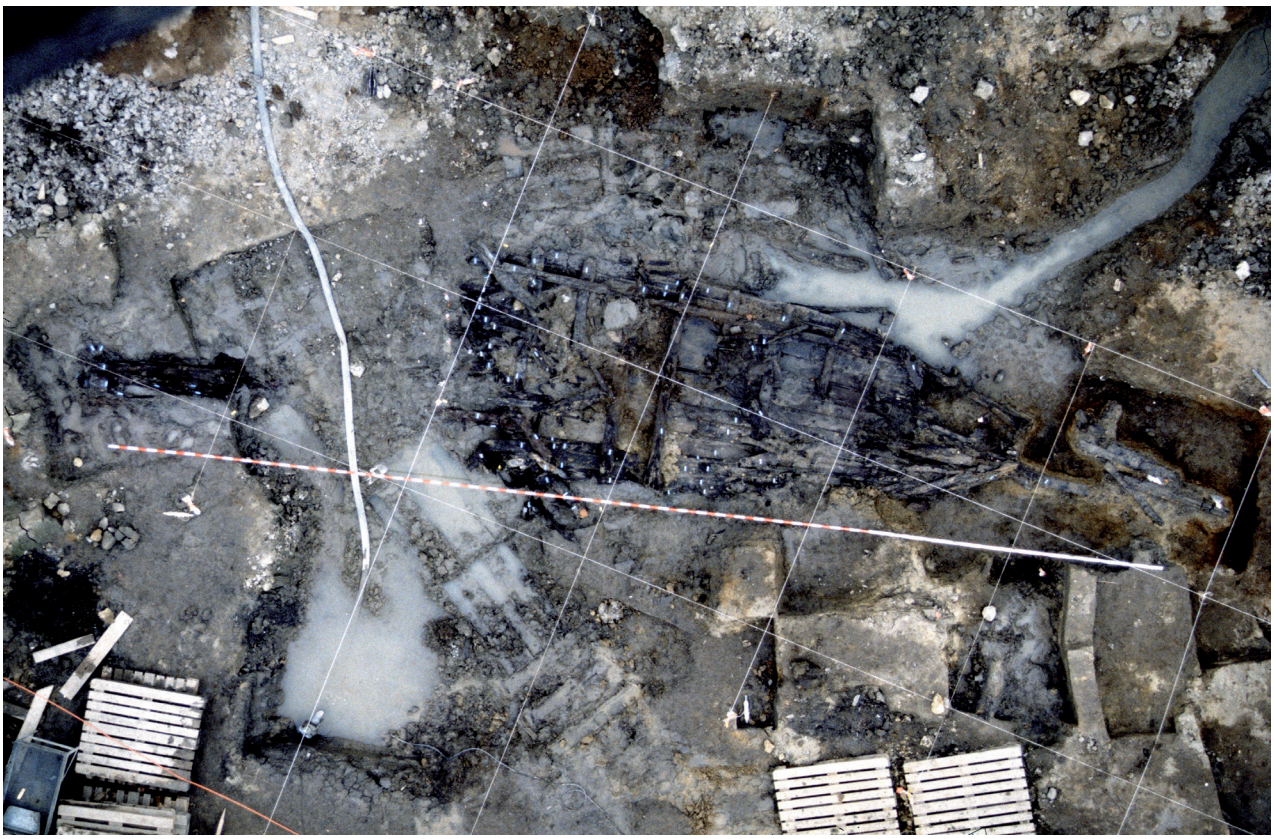


Figura 1. Pecio de *Urbieta* en proceso de excavación en 1998. Fotografía: M. Izaguirre.

dante, con un perímetro de seguridad y bajo la quilla de unos 60 cm para no dañar el contexto. Se excavó una zanja alrededor para dar forma al bloque y se fabricó un encofrado atirantado con vigas de acero de doble T, soldadas a la base. Para cortar el sedimento en la zona inferior se empleó una máquina perforadora que insertó tubos huecos que cortaban el compacto sedimento y que se soldaron entre sí. El izado de la estructura se realizó el 23 de diciembre de 1998 (Montagne, 2003, p. 19) seis meses después de su hallazgo.

El problema principal para ejecutar la extracción era que la estructura del pecio estaba embebida en limos y arcillas muy plásticas y compactas, por lo que la grúa hidráulica se sobredimensionó para evitar golpes bruscos durante el izado. De esta manera, de las veinte toneladas que se calculaba que podría pesar el bloque, se escogió una grúa capaz de izar doscientas toneladas (Montagne, 2003 p. 19). El izado (Figura 2), documentado en vídeo, se realizó sin complicaciones. El traslado se



Figura 2. «Extracción en bloque» del pecio de *Urbieta*. Fotografía: M. Izaguirre.

efectuó con un camión de doce metros de largo que exigió un convoy especial y tardó cinco horas en recorrer los quinientos metros que lo separaban de su siguiente destino.

Se continuó con los trabajos de excavación, la limpieza de los materiales recuperados, la documentación y el registro de cada pieza. Se realizó una base de datos de inventario[2] con la descripción y tamaño de cada una de las piezas (Izaguirre, 2003). El levantamiento gráfico se realizó con la ayuda de unas pasarelas metálicas que se construyeron sobre la estructura de la embarcación, que estaba en este momento muy frágil, y que, junto con unas placas de plexiglás, permitían realizar las planimetrías (Figura 3). Se emplearon punteros láser para conseguir la máxima precisión, tal y como Aurelie Montagne (2003) detalla en su tesis.



Figura 3. Proceso de documentación, de restitución de formas y creación del soporte museográfico. Fotografía: M. Izaguirre.

5. Tratamiento de conservación y proyecto museográfico

5.1. Tratamiento de conservación

Haremos una breve descripción de los tratamientos llevados a cabo según aparecen en la memoria de los trabajos de conservación (Izaguirre, 2003, 2005) y en el informe, también inédito, redactado por la especialista en tratamiento de maderas subacuáticas Ana Jover, responsable de los tratamientos de conservación del proyecto *Urbieta* (Jover, 2005, pp.2-3).

[2] Se empleó el programa File Maker Pro5, ya que permitía incluir imágenes.

«El depósito o cuba en el que se realizó el tratamiento se diseñó según el prototipo de cuba existente en funcionamiento en Girona desde el año 1986, diseñado y adaptado a partir del modelo descrito por Murdock (1978, pp.69-75) […]. se construye con plancha de acero inoxidable 316 de 3 mm y refuerzos exteriores de viguetas en doble T mantienen la tina sin deformaciones. El sistema de calefacción del baño consistía en unas resistencias exteriores adosadas a las paredes de la tina y encajadas entre las viguetas. Su ubicación, en la parte inferior de las paredes laterales del depósito permite la distribución del calor hasta las capas superiores dentro del baño.

Se instalaron 10 resistencias, con una potencia de 1000 W por unidad que son suficientes para elevar la temperatura dentro del baño de manera lenta y gradual, cubriendo las necesidades de metodología empleada y asegurando el mantenimiento de la temperatura de tratamiento de 60 ºC. La incorporación de un termómetro de sonda a 50cm de altura colocado en posición vertical apoyado en el fondo de la tina nos daba información permanente de la temperatura en el interior del baño.»

Se tomó la determinación de realizar una impregnación con PEG 4000 a saturación, aplicado en caliente, ya que las maderas «estaban dentro de los márgenes aconsejados para realizar un tratamiento de este tipo, dado que su contenido en agua variaba entre un 200 % y un 400 % (referido a peso seco). Ello presupone una desaparición prácticamente total de la celulosa y hemicelulosas, originando una fragmentación de las membranas celulares y por consiguiente aumenta su permeabilidad al intercambio por ósmosis» (Jover, 2005, p. 4).

En este informe, Jover expone el problema de interacción del PEG con la lignina que forma el esqueleto de madera ante la presencia de sales de hierro, una vez que el tratamiento haya finalizado y la madera se encuentre a una humedad relativa alta. Este problema es, por lo tanto, ya tenido en cuenta en el momento de la limpieza previa al tratamiento, que se plantea como exhaustiva, lo que también mejoraría la absorción de PEG. Se indica que se hace mecánicamente con cepillos, punzones, pinzas, estropajos, bisturíes y agua para eliminar la brea, los restos de óxido y la arena.

También fue necesario construir una jaula de acero galvanizado que permitiera mantener la estructura de madera apoyada adecuadamente, y eliminar tensiones durante el tratamiento. Las maderas reposaban en planchas de polietileno expandido fijadas con bridas a la jaula.

Otro dato a tener en cuenta es que «el PEG empleado procedía de un tratamiento anterior hecho en Israel para conservar el barco Tiberíades, con un producto añadido como inhibidor de la corrosión, el fenol. La reutilización del PEG es aconsejable mientras no haya perdido sus propiedades y puede reciclarse durante un mínimo de tres tratamientos». Las muestras que se analizaron fueron enviadas al laboratorio del Atelier Regional de Conservation ARC-Nucléart de Grenoble, donde, tras las pruebas pertinentes, se aseguraba su correcto estado (Jover, 2005, p. 6).

Durante el tratamiento se seleccionaron diversos testigos de madera que aportaban información sobre la penetración del PEG y la estabilidad dimensional alcanzada, en los que se hacía el seguimiento.

El tratamiento de impregnación con PEG se inició el 7 de octubre de 2002; el incremento del PEG fue de 1 % semanal durante los siete primeros meses y del 0,65 % los catorce meses restantes.

En junio de 2004 se alcanzó la estabilización dimensional en todos los testigos, puesto que no había habido variaciones en los últimos cuatro meses. A finales de julio de 2004, se detuvo la adición de PEG, a una concentración del 70,6 %, y a partir de este momento se aumentó la concentración hasta un 90 % a partir de la evaporación del agua (Jover, 2005).

5.2. Restitución de formas. Fabricación del soporte expositivo

El principal problema para la restitución de formas fue la escasa información que se tiene de la proa de la embarcación al ser la zona menos representada, tal y como describe Rieth (2006). La

restitución de formas se realizó según los cálculos obtenidos a partir de las fotografías de la estructura, a través de planos y maquetas, a cargo de Marc Ginesty y Eric Rieth. En esta fase de trabajo la estructura de *Urbieta* se encontraba deformada, tal y como se recuperó tras permanecer bajo cuatro metros de sedimento. Para el montaje museográfico se decidió tratar de devolverle su forma «original».

Xabier Agote y el equipo de Albaola se encargaron de la ejecución. En líneas generales se construyó una plataforma rígida para la quilla, y sobre las cuadernas se realizaron unas falsas cuadernas exteriores (Figura 3), que permitirían ir deformando la madera por presión y calor para adaptarla a la forma original, según los planos realizados por Marc Ginisty, tal y como recoge Izaguirre (2006).

La estructura portante se realizó en acero inoxidable soldado (Figura 3), marcando las líneas de agua y cuadernas que mejorarían la comprensión del conjunto. Además, serían el soporte de la tablazón recuperada.

Una vez finalizada la estructura museográfica, en 2006 la embarcación se trasladó al Museo Marítimo Ría de Bilbao, donde se expuso durante casi tres años. Desde el 2009 hasta la actualidad, forma parte de la exposición permanente del Museo de Arqueología de Bizkaia-Arkeologi Museoa, situado en Bilbao.

6. Arquitectura naval

Nos encontramos ante una embarcación de tamaño modesto, cuyas dimensiones completas serían once metros de eslora y tres de manga, con una capacidad de carga máxima de cinco toneladas (Rieth e Izaguirre, 2018). Sería una «txalupa» o pinaza —una embarcación de cabotaje— que posiblemente se dedicaría a la pesca y al transporte de mineral de hierro. Tendría un timón de codaste, del que solamente se conserva una pieza de articulación de hierro, y probablemente una vela cuadra, por lo que navegaría a remos y vela.

El casco trincado, o casco a tingladillo, se documenta en los astilleros vascos hasta el siglo xv (ya sea para embarcaciones de pequeño tamaño o para embarcaciones más grandes). Hasta el momento del hallazgo del pecio de *Urbieta*, se tenía, por lo tanto, una visión reducida de esta tecnología y de su desarrollo en el País Vasco, por lo que su recuperación posibilitó obtener una evidencia material directa del desarrollo de una cultura naval local.

La documentación publicada sobre la materia prima empleada en su construcción no es muy detallada. Lidia Zapata (s.f) identificó madera de roble (*Quercus subg. Quercus*) y madera de haya *(Fagus sylvatica*) en la quilla, esta última con un número mínimo de 70 anillos. El empleo de madera de haya para la quilla aparece documentada en otras zonas del Arco Atlántico, según señala Rieth (Rieth e Izaguirre, 2018).

Entre las particularidades de su carpintería axial, Rieth e Izaguirre (2018) destacan la sección trapezoidal que tiene la quilla, así como el alefriz —que iría clavado a los lados de esta, permitiendo la unión con el tablón de aparadura—, que se ubica a 4 cm de la parte inferior de la quilla.

Entre las particularidades de su carpintería transversal, Rieth e Izaguirre (2018) describen la singularidad del espacio cuadrangular de 5 cm entre las varengas que permite la circulación del agua acumulada en el fondo del barco. Estas varengas se montan a través de cabillas (pernos de madera de unos 3 cm de diámetro) y de juntas en bisel a los genoles. Este sistema de juntas en bisel se documenta también en el pecio Aber Wrac'h I (Bretaña). En el caso del pecio de *Urbieta*, los genoles se habría tallado en roble aprovechando la curvatura natural de la madera. El intervalo de separación de los genoles es bastante irregular, entre los 35 y 48 cm, con una media de 37 cm.

Esta ratio es bastante cercana al barco de Newport y cuando se compara con barcos de origen nórdico, también fabricados a tingladillo, la ratio para estos se amplía entre 80 cm y 1 m. Esta elección en el caso de *Urbieta* se debería a una decisión técnica, seguramente para reforzar la estructura (Rieth e Izaguirre, 2018).

Otra característica importante de *Urbierta* es una especie de cinturón superior en la tablazón (se trataría de la regala, en la borda, la parte más superior del casco) que tiene forma de «L» invertida y se fija a través de un clavo que —insertado desde el interior— atraviesa el grosor de la pieza (Rieth, 2006). Esta estructura es muy similar a la que presenta la chalupa de Red Bay, y que para expertos como Rieth podría interpretarse como una «firma» de la construcción naval vasca (Rieth e Izaguirre, 2018).

En relación al calafateado de la embarcación[3], destaca el estudio realizado por Heras e Infante (2004) en una muestra obtenida entre dos genoles. En ella han identificado ocho especies distintas de musgos[4] embebidos en resina. Las especies identificadas son características del clima atlántico, de formas esponjosas y de gran capacidad para absorber y retener líquidos, por lo que tendrían una buena capacidad impermeabilizante y permitirían dar estanqueidad a la tablazón.

Todas las especies identificadas por Heras e Infante (2004) podrían ser perfectamente autóctonas y tener un origen cercano al propio yacimiento, pero dentro del grupo hay especies de entornos climáticos ligeramente diferentes, por lo que «pudo haber más de una localidad en la que se recolectara este material». La resina no está identificada, los autores la describen por su naturaleza hidrófoba, posiblemente alguna «resina solidificada».

Según las características estructurales o los estudios dendrocronológicos de las maderas[5] (Susperregi, 2016), la embarcación de *Urbieta*, aunque de tamaño más modesto, presenta similitudes con otras embarcaciones cuyas particularidades algunos autores definen como una tecnología naval o tradición naval vasca o vasco-cantábrica. Estos pecios serían: Aber Wrac'h I (Bretaña), datado en la primera mitad del siglo xv, el pecio de Newport-Casnewydd (Gales), datado entre los años 1445-1456, el Barceloneta I (Cataluña), datado por C-14 en 1410 cal.d.C o el Cavalaire (Provenza), datado en 1479 (Soberón, Pujol, Llergo *et al*., 2012, p. 417). Si bien es cierto que *Urbieta* corresponde a una embarcación menor y los demás son barcos de gran porte. En cuanto a la tecnología naval, el Cavalaire presenta la obra viva construida a tope, mientras la obra muerta está fabricada a tingladillo, y los demás están fabricados exclusivamente con la técnica de tingladillo, con clavos de reviro que se insertan desde el exterior y se doblan sobre una arandela cuadrangular, además del uso de cabillas de madera.

En estos pecios se distinguen una serie de particularidades que nos hablan de una tradición genuina, como serían el empleo de maderas de árboles de más de 70 años de manera sistemática, además del «suministro de unas piezas con unas formas y medidas estándares que sugiere una relación estrecha entre la construcción naval y una política forestal», como sugiere Brad Loewen y recoge Soberón (2012, p. 418).

En relación al musgo empleado como impermeabilizante, también se ha localizado en Aber wrach'1, mientras que en Newport parece haberse empleado pelo animal (Soberón, Pujol, Llergo

---

3 Sobre el calafateado de *Urbieta* también deja constancia Aurelie Montagne en su tesis, describiendo un calafateado de color ocre amarillo que recubre la totalidad de la embarcación por dentro y por fuera (Montagne, 2003, p. .16).

4 Especies predominantes de musgos hallados en el barco de *Urbieta* según Heras e Infante (2004): *Hylocomium splendens, Rhytidiadelphus triquetrus, Thuidium tamariscinum.*
Otras especies identificadas: *Eurhynchium praelongum var. stokesii, Eurhynchium striatum, Hypnum cupressiforme var. cupressiforme, Neckera complanata, Scleropodium purum.*

5 Las dataciones por dendrocronología permiten un nivel de precisión mayor que los métodos de datación absoluta como el Carbono 14. En el caso del barco de Newport, el laboratorio de Arkeolan ha podido confirmar que es una nave medieval construida con madera procedente de la zona del País Vasco (Susperregi, 2016).

et al., 2012). En la embarcación Barceloneta I se hallaron muestras de tres tipos diferentes de materiales empleados en el calafateado. Por un lado, aparece el musgo, empleado como impermeabilizante, entre las juntas, embebido en una resina de pino (colofonia) o de alguno de sus derivados. Los datos obtenidos indican que los espectros polínicos del musgo difieren de los de la costa catalana, presentando similitudes con las secuencias de la zona cantábrica de la península ibérica (Soberón, Pujol, Llergo *et al*., 2012). En las sucesivas reparaciones se documenta esta resina de pino o alguno de sus derivados mezclada con arena de sílice, creando una mezcla de tonalidad beige, mientras que en otras zonas aparecería mezclada con cáñamo (Soberón, Pujol, Llergo *et al*., 2012).

Así, el pecio de *Urbieta*, tras veinticinco años desde su hallazgo, ha sido y continúa siendo un documento arqueológico único y es el principal referente para el estudio de la arquitectura naval y la historia náutica del País Vasco y el área cantábrica en la Baja Edad Media. Los resultados de este proyecto proporcionaron una valiosa información referente a la arquitectura naval empleada en el área cantábrica durante el siglo xv, de la que se tenían escasos referentes hasta la fecha.

7. El Plan de Conservación Preventiva de *Urbieta*

Urbieta se expone actualmente en el Arkeologi Museoa (Figura 4), un museo de nueva planta construido para albergar la colección arqueológica de Bizkaia. Dada la vulnerabilidad que se ha detectado en este tipo de materiales tras ser excavados y expuestos al oxígeno, su conservación continúa siendo un reto.



Figura 4. Imagen de la embarcación de *Urbieta* en su emplazamiento actual, el Arkeologi Museoa (Bilbao).

7.1. La acidificación de la madera

La primera señal de alarma comenzó con el descubrimiento de que grandes cantidades de compuestos de azufre permanecían acumulados, tanto en el barco sueco Vasa (1628) como en el Mary Rose (Portsmouth, Inglaterra, 1510).

El interés de la comunidad científica ha posibilitado que se lleven a cabo una gran cantidad de proyectos de investigación dirigidos a comprender las alteraciones que se están produciendo en este tipo de materiales (Fors y Sandström, 2006; Almkvist y Persson, 2006; Mortensen, 2009; Hocker, Almkvist y Sahlstedt, 2012; Almkvist, 2008; Fors, 2008).

La presencia de azufre tiene su origen en las condiciones del sedimento donde las bacterias sulfatorreductoras metabolizan los restos orgánicos, reduciendo iones sulfato a iones sulfuro, creando sulfuro de hidrógeno (H_2S). De esta manera, el sulfuro de hidrógeno penetra en la madera y reacciona formando compuestos de azufre reducidos sólidos en su interior. La influencia de los iones de hierro (II) formará compuestos como sulfuro de hierro, pirita ($Fe^{2+}S_2^{2-}$), o precipitará formando principalmente azufre elemental (S). Las partículas de azufre elemental y la pirita penetran y se acumulan en el interior de la madera.

Los sulfuros de hierro se oxidan a una humedad relativa alta y el PEG es un material muy higroscópico, por lo que actuará como un catalizador. El sulfuro de hierro se transformará en sulfato de hierro y liberará ácido (Sandström, Jalilehvand, Damian *et al.*, 2005, p.14168):

$$FeS_2(s) + 7/2\ O_2 + (n+1)\ H_20 \rightarrow FeSO_4 \cdot nH_2O(s) + H_2SO_4(aq)$$

Además de la acidificación, en ocasiones estos nuevos compuestos supondrán una expansión del volumen, como, por ejemplo, la oxidación de la pirita (FeS_2) a yeso ($CaSO_4 \cdot 2H2O$), incrementando el volumen de los compuestos hasta 6 veces (Fors y Sandström, 2006, p. 401). Las sales que se forman pueden causar tensiones y roturas en la madera y eflorescencias. En el caso de la acidificación, la madera se degrada a partir de la hidrólisis ácida de la celulosa (Fors, 2008).

La cantidad de compuestos formados en el interior dependerá del estado de la madera, la concentración de azufre y la existencia de iones de hierro.

Para algunos autores (Sandström, Jalilehvand, Damian *et al.*, 2005), los pecios procedentes de ríos tendrían una acumulación menor de azufre (como, por ejemplo, la Coca de Bremen), ya que la concentración de sulfatos es menor en las aguas de ríos y por tanto las bacterias sulfatorreductoras no serían tan eficientes. Sin embargo, en los últimos años, barcos localizados en zonas de agua dulce presentan elevados compuestos derivados del azufre, como la embarcación Arles-Rhone 3, (Francia) (Bernard-Maugiron, de Viviès y Blanc, 2016, p. 211) o el barco de Shardlow (Inglaterra) (Crawshaw, Panter y Richardson, 2013). La alta concentración en el caso del Vasa está justificada por haber permanecido en el puerto de Estocolmo (Sandström, Jalilehvand, Damian *et al.*, 2005, p. 14167), mientras barcos hallados en el Báltico y aguas escandinavas presentan concentraciones escasas de compuestos de degradación del azufre (Fors, Jalilehvand, Damian *et al.*, 2012, pp. 2524-25285).

El principal objetivo relacionado con la estabilidad sería poder conocer cómo de accesibles y de reactivos están los compuestos de azufre para que se produzcan oxidaciones ácidas. Esto determinará la posible transformación de compuestos reducidos de azufre a sales de sulfato o sulfuro, o si se podría llegar a formar ácido sulfúrico.

a) Analíticas

El grupo Ibea del Departamento de Química Analítica de la Universidad del País Vasco realizó análisis con SEM-EDS en el año 2015 a un fragmento de madera (Figura 5). Los resultados aportaron información de compuestos elementales, obteniéndose concentraciones de zinc (Zn), azufre (S) y

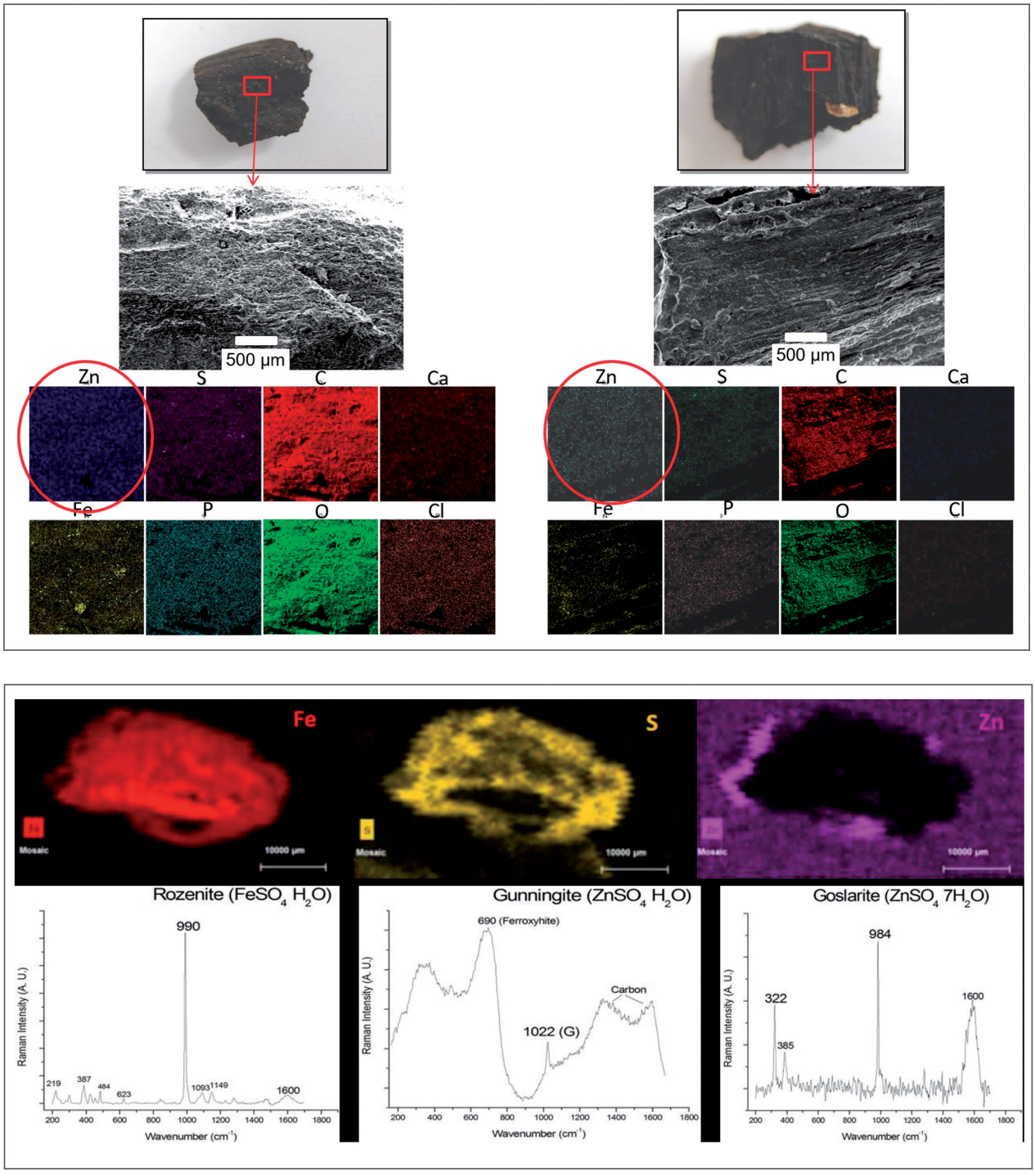


Figura 5. Imagen superior: Resultados SEM-EDS de un fragmento de madera. Imagen inferior: Analíticas SEM y Espectroscopía Raman de clavos procedentes de la embarcación de *Urbieta* (Aramendia *et al.,* 2016; Estalayo *et al.,* 2019).

hierro (Fe) que se distribuyen formando aglomerados en determinadas zonas. La concentración es mucho mayor en la superficie que en el interior del fragmento estudiado.

Un hallazgo inesperado ha sido la gran cantidad de zinc (Zn) hallada tanto en la madera como en los clavos de la embarcación de *Urbieta*, que nos señala una contaminación que alcanza toda la estructura. Para descartar el origen del Zn por contaminación procedente del acero de la cuba o de la estructura de acero galvanizado (jaula), tal y como se documenta en otros tratamientos (McQeen, Tamburini y Braovac, 2016 p.167), se analizaron clavos que no habían sido tratados en la cuba. Estos

clavos también presentaban trazas de zinc, lo que permitió descartar una contaminación por esta causa. La consulta bibliográfica de un artículo publicado por Irabien (1999, p.113), en el que se analizaban muestras de escoria y sedimentos del río Oka —zona de hallazgo del pecio—, y en el que se constataba la elevada contaminación por zinc, aportó una hipótesis de trabajo razonable. El origen del zinc podría estar relacionado con varias fuentes de contaminación, todas ellas de carácter antropogénico: residuos agrícolas o ganaderos, residuos industriales, contaminación por escorias procedentes de la siderurgia que se practicó en la zona o bien por afluentes domésticos. En cualquier caso, procederían de la fase de enterramiento del pecio en el lecho del río Oka.

La hipótesis de procedencia del zinc por contaminación de residuos industriales cobra sentido ya que, como se comentó anteriormente, en el informe de excavación se hace mención a que el pecio yacía bajo una capa de sedimento «constituido por una secuencia de capas de gravilla rodada de mineral de hierro alternada con finas capas de arena» (Izaguirre y Valdés, 1998, p. 38).

b) Mediciones de pH

En el caso del pecio de *Urbieta* se han realizado análisis de pH[6] de zonas en superficie que presentan eflorescencias, así como zonas próximas a clavos. Los valores de pH registrados abarcan un rango de 4,6 a 6,7. Un pH de entre 5 y 10 es aceptable para la madera y «solo debemos preocuparnos cuando baja de 4» (Ghisalberti, Godfrey, Kilminister *et al.*, 2002 p.377), ya que con pH 3 podría producir la hidrólisis de los polisacáridos (Fors, 2008).

7.2. El hierro

La corrosión del hierro en un medio saturado de humedad también está ligado a la corrosión biológica o microbiana, centrada básicamente en las bacterias del ciclo del azufre (Fernández Ibáñez, 2008, p. 51). Esto creará a su vez sulfuros de hierro (pirita, greigita), que una vez el metal es excavado y expuesto al oxígeno formarán sulfatos (rozenita, melanterita).

a) Analíticas

Los clavos de hierro han sido analizados con el fin de conocer mejor las fases de corrosión que se están produciendo en su interior. Para conocer la localización o penetración de los compuestos se realizaron secciones transversales de las muestras (Aramendia, Gomez-Nubla, Bellot-Gurlet *et al.*, 2016; Estalayo, Aramendia, Bellot-Gurlet *et al.*, 2019). La composición elemental de los clavos resultó ser de hierro con trazas de cobre y manganeso. En los análisis realizados por espectroscopía Raman (Figura 5), se detectó la presencia de pirita (FeS_2) y marcansita (FeS_2), ambos sulfuros de hierro que difieren en el tipo de cristalización. También se detectaron sulfatos de hierro, rozenita ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) que se forma en presencia de HR alta. También se comprobó la presencia de siderita ($FeCO_3$) en los clavos analizados, así como gran cantidad de zinc, ambos en la zona denominada como medio transformado. El zinc es un metal muy reactivo, y los análisis determinaron la presencia de hidróxidos de zinc (ZnOH), ($Zn(OH)_2$), así como de sulfatos de zinc (goslarita, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) y gunningite ($ZnSO_4 \cdot H2O$). En la sección transversal, tras ser analizada por SEM-EDS, se pudo comprobar que el zinc solo formaba parte de los productos de corrosión externos y no bajo la superficie original, lo que confirma una vez más su origen exógeno. También se identifican compuestos de corrosión estables, como la magnetita Fe_3O_4, la goetita α-FeO(OH), la lepidocrocita γ-FeO(OH) y la siderita; y otros muy inestables como akaganeíta. También se identifica yeso ($CaSO_4 \cdot 2\ H_20$).

Los ratios de expansión de los compuestos detectados indican coeficientes elevados, ~8x para la formación de rozenita desde pirita, o ~6,3x desde sulfuro elemental. Se producirían aumentos de

[6] Los análisis de pH en superficie, en el caso de la embarcación de *Urbieta*, se han realizado con peachímetro de contacto (pHTester Foodcare HI981035 Hanna instruments).

volumen ~6x para el yeso (CaSO4-2H2O), en relación con el volumen de la pirita (Imazu, Morgós, Ito *et al.*, 2016, p. 247).

Estos datos nos advierten de un aumento de volumen que produciría daños mecánicos severos (pulverulencia, fisuras y desprendimiento de material), debilitando la estructura, al producirse la oxidación de la pirita o el sulfuro elemental.

De tal manera, ante una humedad relativa alta, las sales, muy higroscópicas, y el ácido generado, se transportarían a la superficie de la madera/metal, aumentando la acidez y formándose eflorescencias de sales. El yeso, por su baja solubilidad en agua, cristalizaría en el interior de la madera en presencia de calcio (Imazu, Morgós, Ito *et al.*, 2016, p. 348).

7.3. Resultados y trabajos realizados

Los resultados de pH no indican valores excesivamente ácidos en términos generales, a excepción de zonas puntuales próximas a clavos metálicos, donde los valores son sobre todo preocupantes para una conservación a largo plazo. Las mediciones de pH en superficie deben ser tomadas con prudencia, a falta de realizar análisis de pH del interior de la madera.

Los clavos se ven afectados por compuestos muy inestables, como son la pirita y los sulfatos de hierro, la zona alterada por este tipo de compuestos se desarrolla también a unos centímetros de madera inmediata a los clavos, lugar donde se encuentran los compuestos de hierro en mayor concentración. Algunos de estos clavos no contienen núcleo metálico y su capacidad de sujeción es escasa. Esto implica que la estabilidad física de algunas maderas puede verse también comprometida, por lo que se revisan periódicamente las sujeciones.

Los análisis realizados en 2015 indicaban la existencia de compuestos que se forman en ambientes de elevada humedad. En ese momento, el museo no contaba con un equipo de control climático salvo un deshumidificador que no resultaba suficiente para el tamaño de la sala, que presenta además problemas de aislamiento. En 2020 se instaló en la sala una puerta de acceso, para aislarla de corrientes procedentes de otras áreas del museo, y de un sistema de climatización que controla de manera prioritaria la humedad del aire. Sigue pendiente la mejora de las medidas pasivas de control climático mediante el aislamiento de una de las paredes de la sala.

Las recomendaciones establecidas por diversos autores para la conservación de la madera tratada con PEG con las patologías descritas serían unas condiciones de temperatura (T) de 20 ºC y 50 % de humedad relativa (HR). Los principales requerimientos serían la estabilidad de los parámetros, sobre todo en el caso de la HR, y que los valores no excedan del 55 %.

Sin embargo, conseguir parámetros de humedad estrictos en una zona tan amplia con acceso continuo de público resulta económica y técnicamente inviable. Está la opción de construir una «vitrina» alrededor de la embarcación, que permita un clima más controlado. Siendo la opción más eficiente, presentaría también dificultades técnicas para insertarla en la museografía actual.

En cuanto al PEG, no hemos realizado un estudio específico de su envejecimiento. El tratamiento se realizó con PEG 4000[7], que es el que mejor se comporta en ambientes con alta humedad (es menos higroscópico); sin embargo, el hecho de haberse aplicado en caliente podría indicarnos que su envejecimiento puede ser más rápido (degradación termo-oxidativa) (Hocker, Almkvist y Sahlsted, 2012, p.7; Mortensen 2009, p.10).

---

7 Según un minucioso estudio bibliográfico, Crawshaw (2016, p. 371) afirma que el deterioro del PEG es más evidente en los casos en los que se ha empleado PEG 4000, evidenciando el cuestionable factor temperatura, y se produce en el interior de la madera, es decir, en el núcleo. Para otros autores no parece quedar claro el mecanismo que favorece la degradación del PEG, mientras para unos (Almkvist, 2008) parece estar relacionado con reacciones de hierro-catalizado tipo Fenton, para otros (Mortensen, Egsgaard, Hvilsted *et al.*, 2012) son los peróxidos los que están involucrados en la degradación del PEG.

En relación al Plan de Conservación Preventiva, se ha diseñado un procedimiento de gestión integral, a partir de protocolos de limpieza, vigilancia, registro climático, que permiten una monitorización con garantías. Se realiza una inspección sistemática de las zonas de control (Z) elegidas por ser zonas susceptibles de sufrir patologías, o bien por estar situadas próximas a clavos o por contener eflorescencias, e intentando cubrir zonas diferentes a lo largo de la estructura. Se han elegido 12 zonas que se registran en una ficha de control en la que se verán reflejados datos como el pH, observaciones de conservación o cambios observados en relación a la imagen anterior, condiciones de iluminación, etc.

7.4. Discusión

Las implicaciones que tienen los resultados de los análisis, a la luz de las últimas investigaciones, nos dejan ante un futuro incierto. Si bien el conocimiento sobre los procesos que provocan este tipo de degradaciones se ha ampliado en estas últimas décadas, los métodos de conservación para poder paliarlos son limitados y en ocasiones deben lidiar con problemas éticos. La comunidad científica no ha logrado la solución única o el método perfecto, y la investigación continúa. Conscientes de la situación y siendo realistas con las consecuencias, es preciso evaluar la situación para elegir la mejor estrategia de conservación.

La cantidad de hierro existente en la estructura debe considerarse un riesgo elevado para la preservación a largo plazo, ya que el hierro es un catalizador de las oxidaciones generadas a partir de los compuestos de azufre. Los procedimientos realizados en los últimos años ante esta incompatibilidad de materiales han sido diversos. Desde la extracción de los clavos —para poder asegurar la conservación de la madera— eliminando los compuestos de hierro y pirita[8]. Los clavos originales son sustituidos por réplicas, fabricadas en materiales estables, que no interaccionan con la madera. En la bibliografía aparecen varios casos de retratamiento con agentes complejantes[9], que tienen la ventaja de extraer gran cantidad de sales de hierro y también llegan a neutralizar los ácidos presentes en el interior de la madera (Phillips y Nyström, 2012). Sin embargo, este tipo de intervención no es inocua, ya que implica la rehumectación de la madera.

A partir del estudio de las vulnerabilidades que posee la embarcación de *Urbieta*, los resultados de las analíticas realizadas, así como la revisión de los materiales y métodos actuales, somos conscientes de la necesidad de seguir investigando para lograr técnicas alternativas. Consideramos la reconservación como un método que solo debe realizarse si es absolutamente necesario, un requisito para la supervivencia de la embarcación.

Es por ello que la situación actual indica que la mejor decisión será optar por la toma de medidas preventivas, la monitorización constante, sin descuidar un seguimiento que nos pueda dar señales de alerta para la toma de medidas activas de conservación.

8. Conclusiones

Este trabajo tiene como objetivo sintetizar la documentación existente en la actualidad sobre la pinaza de *Urbieta*, de su excavación y posterior tratamiento de restauración, así como su plan de conservación preventiva, transcurridos 25 años de su hallazgo. El proceso de extracción —en

[8] Ejemplos de este procedimiento son el pecio Arles-Rhône 3 (Bernard-Maugiron, de Viviès y Blanc, 2016) o el Lyon Saint-Georges 4 (Rémazeilles *et al.,* 2019). En el caso del pecio Arles-Rhône se realizó el corte de la zona de madera inmediata a los clavos de hierro, para conseguir la adecuada eliminación de los compuestos indeseados.

[9] DTPA: ácido dietilentriamino pentaacético, sal sódica (C14H18N3Na5O10).
EDDHMA: ácido etiléndiamino-di-(o-hidroxi-p-metilfenilacético). Agentes quelantes utilizados en la limpieza o eliminación de iones metálicos.

bloque— y el tratamiento de conservación y restauración, sin precedentes en la arqueología vasca, permitió su estudio arquitectónico. Actualmente, continúa siendo un documento único para el estudio de la arquitectura naval a tingladillo desarrollada en el Cantábrico.

Conscientes de la riqueza cultural que representa, y a la luz de las últimas investigaciones, es imprescindible conocer los riesgos ante los que nos enfrentamos para su conservación a largo plazo.

En la madera de *Urbieta* se han detectado zonas puntuales inestables, que presentan mediciones de pH ácido posiblemente debido a la contaminación por hierro y azufre.

En el caso de los clavos, su conservación a largo plazo sin un tratamiento curativo no parece realista. Se han detectado compuestos como sulfuros de hierro (pirita, marcasita), sulfatos de hierro o yeso. Este tipo de alteraciones tienen como problema principal su inestabilidad y tendencia a transformarse en otros compuestos (con expansiones y contracciones que debilitan la estructura) y una intensa acidificación.

Consideramos necesario seguir investigando en los procesos que se están produciendo para lograr metodologías de conservación específicas para el caso concreto de la embarcación de *Urbieta*.

Por el momento, se ha diseñado un procedimiento de gestión integral, a partir de protocolos de limpieza, vigilancia y registro climático y una estrategia para la inspección sistemática de las zonas de control (Z), registradas en los planos de la embarcación, que permiten una monitorización con garantías.

Además, el control de las condiciones termohigrométricas debe ser estricto. Por lo que convendría mejorar las condiciones de conservación preventiva, que ya se comenzaron en 2019 con la implantación del sistema de climatización, y actuar en las medidas pasivas para el control climático.

Actualmente no se estima necesaria la aplicación de un retratamiento o un tratamiento activo para controlar la acidez, pero esto no quiere decir que no será necesario en el futuro.

Agradecimientos

Que hoy podamos contemplar la embarcación de *Urbieta* en un centro público es posible gracias a quienes creyeron en este interesante, pero a la vez complicado proyecto. Tras haber transcurrido 25 años desde el hallazgo, algunas de estas personas desgraciadamente no continúan entre nosotros, pero su legado permanece. La autora de este artículo ha tratado de citar a lo largo del texto a las personas implicadas, pero con certeza son muchas más. Destacamos a Manu Izagirre Lacoste, *alma mater* del proyecto; Argi Diez, la arqueóloga que localizó las primeras tracas; Luis Valdés, arqueólogo codirector de la excavación con su equipo, José Manuel Matés Luque e Izaskun Pujana; Ana Jover i Armengol, química y conservadora, responsable de la conservación de la madera, con el apoyo de Caterina Aguer. Joshan Galdona, encargado de que todo el «engranaje» estuviera a punto; Eric Rieth y Marc Ginisty, que realizaron el análisis arquitectónico de *Urbieta*; Aurelie Montagne que, junto con Joao Alvés y Miguel Aleluya, realizaron el levantamiento gráfico; Xabier Agote, junto al equipo de Albaola, dio forma y creó la estructura museográfica. El grupo Ibea de la UPV/EHU, Marco Veneranda, Estefania Estalayo y Julene Aramendia, así como a Patxi Heras y Marta Infante, del Museo de Ciencias Naturales de Álava, cuyo trabajo ha permitido conocer mejor la embarcación.

Asimismo, agradecemos al Ayuntamiento de Gernika, a la Diputación Foral de Bizkaia y a sus técnicos de patrimonio que lograron la financiación para el proyecto

Referencias bibliográficas

Alberdi Lonbide, X. y Aragón Ruano, A. (1998). La construcción naval en el País Vasco durante la Edad Media. *Itsas Memoria. Revista de Estudios Marítimos del País Vasco,* 2, 13-33.

Almkvist, G. y Persson, I. (2006). Extraction of iron from conserved oak wood from the Vasa –efficiency and effects on the wood. *Holzforschung,* 60, 683-684.

Almkvist, G. (2008). *The Chemistry of the Vasa- Iron, Acids and Degradation*. Tesis doctoral. Faculty of Natural Resources and Agricultural Science. Department of Chemistry, Uppsala.

Aramendia, J., Gómez-Nubla, L., Bellot-Gurlet, L., Castro, K., García, L., García-Camino, I., Izaguirre, M. y Madariaga, J. M. (2016). Characterising the underwater corrosión system of iron nails coming from a shipwreck. En P. Vandernabeele (Ed.), *Inart Second Conference on Innovation in Art Research and Technology* (pp 88-89).

Azkarate, A., Hernández, J. A. y Núñez, J. (1992). *Balleneros vascos del siglo XVI. Estudio arqueológico y contexto histórico (Chateau Bay, Labrador, Canada). Amerika eta Euskaldunak. América y los vascos*. Servicio de Publicaciones del Gobierno Vasco.

Bernard-Maugiron, H., de Viviès, P. y Blanc, L. (2016). A case study: The analysis and restoration of pyrite-contaminated composite waterlogged wood of a Gallo-Roman barge from Arles. En T. Grant y C. Cook (Eds.), *Proceeding of the 12th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference* (pp. 210-217). Istanbul.

Crawshaw, A. (2016). A literature review of the deterioration of PEG in archaeological wood. En E. Williams y E. Hocker (Eds.), *Proceeding of the 13th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Florence* (pp. 370-378).

Crawshaw, A., Panter, I. y Richardson, C. (2013). The Shardlow logboat - a conservation case study. En T. Grant y C. Cook (Eds.), *Proceedings of the 12th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference* (pp. 252-257). Istanbul.

Estalayo, E., Aramendia, J., Bellot-Gurlet, L., García, L., García-Camino, I. y Madariaga, J. M. (2019). The interaction of sediments with the archeological iron remains from the recovery shipwreck of Urbieta (Gernika, North of Spain). *Journal of Raman Spectroscopy,* 52, 1, 230-240.

Fernández Ibáñez, C. (2008). Procesos de alteración y sistemas de estabilización del hierro arqueológico de procedencia subacuática. En B. Carrascosa Moliner (Ed.), *La recuperación del Patrimonio Subacuático* (pp. 50-59). Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Fors, Y. y Sandström, M. (2006). Sulfur and iron in shipwrecks cause conservation concerns. *Chemical Society reviews,* 35, 399-415.

Fors, Y. (2008). *Sulfur-Related Conservation Concerns for Marine Archaeological Wood*. Doctoral Thesis. Department of Physical, Inorganic and Structural Chemistry, Stockholm University.

Fors, Y., Jalilehvand, F., Damian Risberg, E., Björdal, C. y Phillips, E. (2012). Sulfur and iron analyses of marine archaeological wood in shipwrecks from the Baltic Sea and Scandinavian waters. *Journal of Archaeological Sciences,* 39, 2521-2532.

Ghisalberti, E., Godfrey, I. M., Kilminister, K., Richards, V. L. y Williams, E. (2002). The Analysis of Acid-Affected Batavia Timbers. En P. Hoffmann (Ed.), *Proceedings of the 8th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference* (pp. 281-307). Stockholm: International Council of Museums.

Heras Pérez, P. e Infante Sánchez, M. (2004). *Estudio de los musgos hallados en los restos de una embarcación en la ría de Gernika*. Depositado en el archivo del Arkeologi Museoa. Inédito.

Hocker, E., Almkvist, G. y Sahlstedt, M. (2012). The Vasa experience with polyethylene glycol: A conservator's perspective. *Journal of Cultural Heritage (2012).*

Imazu, S., Morgós, A., Ito, K., Aizawa, T. y Sajó, I. (2016). A post-treatment assessment of wood-iron composites from the remains of the Mongol fleet from 1281. En E. Williams y E. Hocker (Eds.), *Proceeding of the 13th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference* (pp. 242-248). Florence.

Irabien, M. J. (1999). Vertidos de escorias en el Rio Oka (Reserva Natural de la Biosfera de Urdaibai, Vizcaya): Aspectos mineralógicos y geoquímicos. *Geogaceta,* 25, 111-113.

Izaguirre, M. y Valdés, L. (1998). Avance de excavación del pecio del siglo XV de Urbieta (Gernika). *Itsas Memoria. Revista de Estudios Mar*ítimos del País Vasco, 2, 35-41.

Izaguirre, M. (2005). *Informe sobre la situación de la operación de estabilización y restitución del Pecio de Urbieta (Gernika) a fin de año 2004*. Depositado en el archivo del Arkeologi Museoa. Inédito.

Izaguirre, M. (2006). *El Pecio de Urbieta (Gernika) País Vasco. Underwater Cultural Heritage at Risk*. https://www.icomos.org/risk/2006/31izaguirre2006es.pdf

Jover, A. (2005). *La consolidación del barco de Gernika*. Informe inédito depositado en el Arkeologi Museoa.

Loewen, B. (1996). El estudio de la historia marítima vasca en Canadá. *Itsas Memoria. Revista de Estudios Mar*ítimos del País Vasco, 2, 151-169.

McQeen, C. M. A., Tamburini, D. y Braovac, S. (2016). Identification of metal compounds in alum-traded wood from the Oseberg Collection. En E. Williams y E. Hocker (Eds.), *Proceedings of the 13th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference* (pp. 162-168). Florence.

Montagne, A. (2003). *Le pecio d'Urbieta. Un caboteur 'fluvio-maritime', seconde moitié du XV*è*me siècle, trouvé à Gernika, Pays Basque*. Mémoire de maîtrise. Université de Paris I- Pantheón-Sorbonne, Paris.

Mortensen, M. N. (2009). *Stabilization of polyethylene Glycol in Archaeological Wood*. Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Danish Technical University.

Mortensen, M., Egsgaard, H., Hvilsted, S., Shashua, Y. y Glastrup, J. (2012). Tetraethylene glycol thermos-oxidation and the influence of certain compounds relevant to conserved archaeological wood. *Journal of Archaeological Science*, 39, 3341-3348.

Murdock, L. D. (1978). A stainless steel PEG treatment tank for conservation of waterlogged wood. *Studies in Conservation*, 23, IIC, 69-75.

Phillips, E. y Nyström Godfrey, I. (2012). Removing iron compounds from a waterlogged wooden gun-carriage using the chelating agent, DTPA. *Proceedings of the 11th ICOM Waterlogged Wood Working Group Conference*. Greenville, North Carolina.

Rémazeilles, C., Meunier, L., Lévêque, F., Plasson, N., Conforto, E., Crouzet, M., Refait, P. y Caillat, L. (2020). Post-treatment Study of Iron/Sulfur-containing Compounds in the Wreck of Lyon Saint-Georges 4 (Second Century ACE). *Studies in Conservation,* 65(1), 28-36.

Rieth, E. (2006). L'épave d'Urbieta (Gernika): une embarcation à clin du milieu du XVe siècle. Étude préliminaire. *Itsas Memoria. Revista de Estudios Mar*ítimos del País Vasco, 5, 603-616.

Rieth, E. e Izaguirre, M. (2004). El pecio medieval de Urbieta (Gernika). En J. M. Unsain (Dir.), *La memoria sumergida. Arqueología y patrimonio subacuático vasco Untzi Museoa-Museo Naval* (pp. 142-151). Donostia.

Rieth, E. e Izaguirre, M. (2018). L'épave du XV e siècle d'Urbieta (Gernika, Bizkaia): archéologie d'une chaloupe côtière basque. [Presentación en congreso]. Congreso Internacional "Estudio y análisis del contexto tecnológico de la nao Victoria, en el marco de la primera circunnavegación de la tierra". Palacio Miramar, Donostia-San Sebastián (Gipuzkoa). Museo Naval y Universidad del País Vasco, 5-6 de septiembre de 2018. https://www.youtube.com/watch?v=ckpoQaUajZk [Consulta: 15 de abril de 2019].

Sandström, M., Jalilehvand, F., Damian, E., Fors, Y., Gelius, U., Jones, M. y Salomé, M. (2005). Sulfur accumulation in the timbers of King Henry VIII's warship Mary Rose: A pathway in the sulfur cycle of conservation concern. *PNAS,* 102, 40, 14165-14170.

Soberón, M., Pujol, M., Llergo, Y., Riera, S., Julià, R. y Domínguez, M. (2012). El Barceloneta I. Una embarcación medieval a tingladillo en Barcelona. *Itsas Memoria. Revista de Estudios Marítimos del País Vasco,* 7, 411-422.

Susperregi Lasalde, J. (2016). La dendrocronología, herramienta clave para el conocimiento del patrimonio marítimo vasco. El pecio de Newport y otros casos destacables. *Itsas Memoria. Revista de Estudios Marítimos* del País Vasco, 8, 681-690.

Zapata Peña, L. (s.f.). *Informe: Identificación de piezas de madera del Pecio de Urbieta (Gernika, Bizkaia)*. Depositado en el archivo del Arkeologi Museoa. Inédito.

METODOLOGÍAS APLICADAS A LA EXTRACCIÓN DE PECIOS Y OTROS MATERIALES SUBACUÁTICOS

METHODOLOGIES APPLIED TO THE EXTRACTION OF WRECKS AND OTHER UNDERWATER MATERIALS

Moldeo y extracción de materiales frágiles en yacimientos arqueológicos subacuáticos mediante elastómeros de silicona

Luis Carlos Zambrano Valdivia
Conservador-restaurador
Museo de Cádiz, Junta de Andalucía
luisc.zambrano@juntadeandalucia.es

Resumen: La obtención del registro arqueológico subacuático se enfrenta a unas circunstancias complejas debido a la naturaleza del medio acuático. Adaptación humana aparte, la dificultad del registro se complica frecuentemente a causa del estado de conservación de los materiales sumergidos. Toda una serie de alteraciones físico-químicas originadas por la saturación hídrica como factor común han generado un campo de especialización propio: la conservación arqueológica subacuática. Dentro de este campo, los materiales orgánicos (artefactos y ecofactos de madera, plantas, cuero, hueso, plumas o pelo) constituyen un grupo conocido por su elevada problemática de conservación. El éxito de su tratamiento reside en comprender la intervención como un conjunto de acciones coordinadas que van desde el hallazgo *in situ* hasta el laboratorio de conservación. Los daños en la extracción de muchos materiales orgánicos suponen la destrucción irremediable de objetos únicos. Mediante un sistema combinado de extracción con moldes subacuáticos e impregnación forzada con polímeros de silicona se ha obtenido la solución para conservar una de las tipologías de objetos más frágiles que pueden hallarse en el contexto subacuático: la cordelería náutica fabricada con fibras vegetales. Se exponen en este artículo los principales logros en este proceso de investigación, así como su transferencia al ámbito académico dentro del Máster de Arqueología Náutica y Subacuática de la Universidad de Cádiz y el Campus de Excelencia Internacional del Mar (CEI-Mar).

Palabras clave: conservación, moldes, arqueología subacuática, silicona.

Abstract: Obtaining the underwater archaeological record faces complex circumstances due to the nature of the aquatic environment. The difficulty of recording is frequently compounded by the state of conservation of the submerged materials. A whole series of physical-chemical alterations caused by water saturation as a common factor have generated a field of specialization of its own: underwater archaeological conservation. Within this field, organic materials (artifacts and ecofacts made of wood, plants, leather, bone, feathers or hair) constitute a group known for its high conservation problems. The success of its treatment lies in understanding the intervention as a set of coordinated actions that go from the discovery in situ to the conservation laboratory. The damage in the extraction of many organic materials supposes the irremediable destruction of unique objects. Through a combined system of extraction with underwater molds and forced impregnation with silicone polymers, the solution has been obtained to preserve one of the most fragile types of objects that can be found in the underwater context: nautical ropes made of vegetable fibers. The main achievements in this research process are presented in this article, as well as its transfer to the academic field within the Master's Degree in Nautical and Underwater Archeology of the University of Cádiz and the Campus of International Excellence of the Sea (CEI-Mar).

Keywords: conservation, molds, underwater archaeology, silicone.

1. Introducción

La arqueología náutica, como rama especializada de la arqueología subacuática, analiza los distintos elementos que conforman el barco. La estructura flotante, el casco y el sistema de propulsión eólica, el aparejo, comprenden toda una serie de piezas interconectadas entre sí. Esta estructura móvil de casco y aparejo náutico es uno de los vestigios constructivos más antiguos y transcendentales para el desarrollo de las sociedades humanas a través de la historia.

Las evidencias arqueológicas nos muestran que este conjunto de piezas está fabricado en su práctica totalidad con materiales orgánicos: la madera para la quilla, roda, codaste, tracas, cuadernas, baos, varengas, mástiles y vergas, o las fibras vegetales para velas, estopa y jarcias. Tras siglos de enterramiento subacuático, si se dan las condiciones adecuadas, dichos materiales pueden hallarse en un estado de conservación suficientemente apto para su registro documental. Las maderas, al igual que las fibras vegetales, ya sean de tallos, semillas u hojas, sufren un proceso de transformación donde el agua circundante rellena el espacio de los compuestos celulósicos hidrolizados. Estos objetos se presentan en apariencia inalterados, pero su resistencia física ha disminuido drásticamente a causa de las transformaciones químicas. Los compuestos que otorgaban flexibilidad y dureza a la madera y a las fibras se han sustituido por agua hasta superar el 400 % en el ensayo de humedad máxima, situación que los coloca en el nivel máximo de degradación (De Jong, 1977, pp. 295-338). En consecuencia, los objetos originalmente resistentes se tornan en piezas frágiles incapaces de mantener su integridad fuera de la protección ofrecida por el lecho marino.

Cuando el investigador se enfrenta a la excavación de los restos orgánicos puede apreciar empíricamente el grado de dureza del material orgánico, siendo esta la primera evidencia diagnóstica del deterioro ocasionado por la suma de factores extrínsecos (condiciones medioambientales) y factores intrínsecos (especie biológica, técnica de fabricación y huellas de uso). Un tercer factor es el «tiempo de abandono» o exposición a los agentes extrínsecos que estará condicionado a su vez por la estabilidad de las condiciones medioambientales; a mayor variabilidad mayor deterioro. En el desarrollo de la excavación se produce una ruptura definitiva de las condiciones medioambientales que rodean al objeto. En este momento el material es vulnerable a toda una serie de procesos degradativos causados por la readaptación a las nuevas condiciones físico-químicas. Sin embargo, debido a la potencialidad del daño, existe un riesgo por encima de todos, que es la alteración mecánica por erosión, impacto, tracción o cizalla durante la manipulación del objeto.

En el transcurso de una excavación, un ligero movimiento en la columna de agua por un aleteo incontrolado equivale a un *tsunami* para los restos de cordelería náutica que afloran en el sedimento. La degradación del material pondrá el límite a las posibilidades de manipulación indispensables para excavar y recuperarlo con éxito. Pero, obviamente, no todos los objetos de un yacimiento presentan el mismo grado de deterioro. Por lo general, la excavación de los restos puede progresar con normalidad si los investigadores extreman el cuidado y aplican medidas preventivas, como pueden ser barreras perimetrales con bolsas de arena. Excavar materiales antiguos, y consecuentemente degradados, obliga a planificar concienzudamente el trabajo para minimizar el riesgo de alteración. Las recomendaciones internacionales en materia de Patrimonio Histórico-Cultural (Convención-París, 2001) hacen hincapié en este aspecto. No obstante, y a pesar de los avances experimentados con la incorporación de conservadores subacuáticos en los proyectos de excavación, se mantiene la problemática de recuperar objetos de fibras vegetales; un patrimonio extremadamente vulnerable y esencial para el conocimiento histórico.

Las fibras vegetales en forma de escotas, drizas, brazas, obenques, cabos de ancla, guindalezas, cabos de amarre y un gran etcétera de cabuyería auxiliar son elementos indispensables para la navegación a vela. Estos elementos no han sido, sin embargo, suficientemente atendidos por la arqueología náutica, que se ha centrado tradicionalmente en el estudio del casco y su técnica constructiva. De este modo tenemos un conocimiento muy preciso sobre la construcción de barcos

en determinados periodos históricos, pero un enorme vacío en cuanto a las técnicas de navegación. La escasez de evidencias arqueológicas relacionadas con el aparato propulsor en las embarcaciones de época antigua, velas, mástiles, vergas y jarcias, hace que los investigadores formulen sus hipótesis apoyados en la documentación literaria o iconográfica. La notoria falta de evidencias arqueológicas (Charlton, 1996, pp. 55-72) no debe achacarse exclusivamente a la pérdida de estos elementos durante el periodo de abandono. Importantes conjuntos de cordelería náutica se han recuperado de forma fragmentaria, como es el caso del pecio del siglo IV a.e.c. de Ma'agan Mikhael en la campaña arqueológica de 1987 a 1989. 45 cm de cuerda divididos en cinco piezas, 40 cm en cinco piezas, 134 cm en ocho piezas, 33 cm en dos piezas, 142 cm en diez piezas, 19 cm en dos piezas, 768 cm en diecinueve piezas (una pieza de 55 cm), 393 cm en seis piezas. Este conjunto de cuerdas donde se incluyen varios nudos fue identificado, a excepción de una sola pieza, como *Scirpus holoschoenus* o *junco común* (Shimony, Yucha y Werker, 1992, pp. 58-62). En el momento del hallazgo, su estado de conservación fue descrito como excepcionalmente bueno. Ma'agan Mikhael es un buen ejemplo de lo expuesto por Charlton (1996), quien afirma que solo pequeños fragmentos de cuerdas sobreviven a la mayoría de pecios submarinos de la Edad Antigua. La degradación natural es sin duda la causa principal de esta situación, pero no la única, las prácticas negligentes en la recuperación tienen mucha responsabilidad. Es difícil saber cuántos de estos vestigios han desaparecido durante el proceso de excavación y en qué circunstancias. En la práctica se asume con resignación que cierto tipo de restos arqueológicos están literalmente condenados a desaparecer, reconociendo implícitamente la incapacidad técnica para evitarlo. No solamente son cuerdas o trenzados de fibras, también alfombras vegetales, cestería, y un sinfín de objetos de naturaleza orgánica elaborados con fibras vegetales entrelazadas que, como ya se ha comprobado, tienden a desaparecer durante la excavación arqueológica.

Las técnicas de moldeo subacuático, en combinación con tratamientos de consolidación específicos para materiales extremadamente fragilizados, se postulan como una solución para preservar el valioso legado histórico de los objetos de fibras vegetales en yacimientos arqueológicos subacuáticos.

2. Metodología experimental

La metodología empleada para investigar el procedimiento de moldeo subacuático (Zambrano, 2015, pp. 55-75) se estructura en tres partes: 1/ el objeto a moldear, 2/ el producto de moldeo y 3/ la técnica o implementación práctica de moldeo. El carácter experimental de esta investigación ha supuesto el desarrollo de nuevos instrumentos y técnicas dirigidas a resolver problemas tales como la obtención de material orgánico para la experimentación, la caracterización físico-mecánica del material fragilizado, la caracterización física del elastómero en condiciones de saturación hídrica o el análisis de eficacia del moldeo sobre objetos fragilizados. Todo este desarrollo experimental es sintetizado a través de los siguientes apartados: A) objeto a moldear, B) producto para moldear y C) método de moldeo.

A. Objeto a moldear

El objeto a moldear es cuerda de cáñamo (*Cannabis sativa*) con un diámetro de 3 mm formada por 3 cordones tendidos en «Z». Para obtener las muestras se han desarrollado diferentes métodos de envejecimiento y caracterización:

- Método para el envejecimiento de cuerdas de cáñamo
- Método para determinar el Contenido de Humedad Máximo (MMC%).
- Método para determinar el Índice de Resistencia a la Presión (PRI%).
- Método de análisis colorimétrico para monitorizar el proceso de envejecimiento.

B. Producto para moldear

El producto para moldear es el elastómero de silicona SILASTIC 3481 de *Dow Corning*. Para su empleo subacuático han sido modificadas las proporciones del producto base y los componentes adicionales. Para conocer el comportamiento del elastómero en su aplicación subacuática se han realizados ensayos normalizados de caracterización física:

- Método para determinar la viscosidad.
- Método para determinar el tiempo de curado y la dureza.
- Método para determinar la gravedad específica.

C. Método de moldeo

Se ha creado un sistema experimental de moldeo subacuático en laboratorio que relaciona los tres parámetros fundamentales para determinar la eficacia del moldeo subacuático destinado a la recuperación de materiales orgánicos fragilizados.

- Degradación del objeto.
- Viscosidad del elastómero.
- Presión de moldeo.

3. Simulación de materiales súperfrágiles

Dada la escasez de cordelería histórica conservada y el problema ético de experimentar con piezas originales se ha desarrollado una técnica para obtener artificialmente un material sustitutivo con características similares. La experimentación ha utilizado un modelo típico de cuerda con tres cordones en «Z» fabricada con fibras de cáñamo que ha sido artificialmente envejecida mediante un proceso controlado para reducir su consistencia de forma supervisada en tres niveles de degradación, reúne cualidades excepcionales para experimentar la técnica de moldeo subacuático de objetos súperfrágiles.

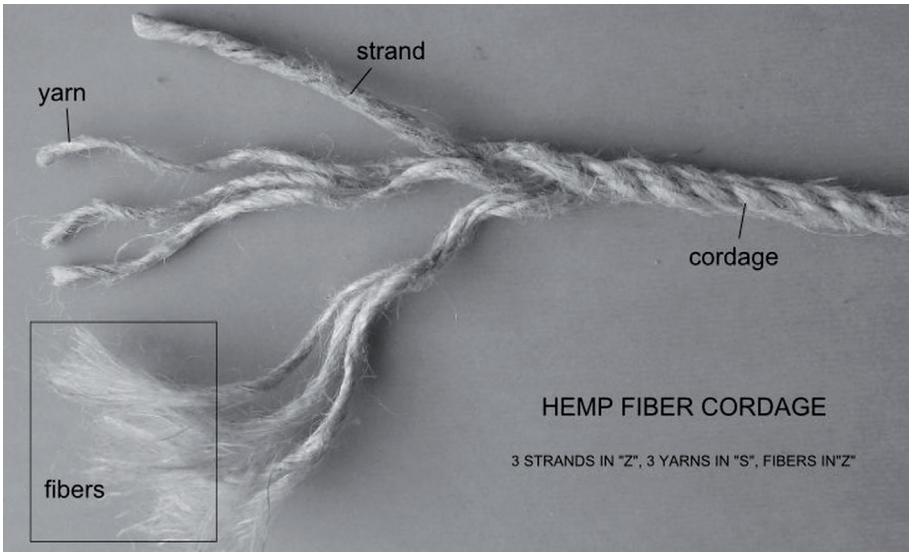


Figura 1. Descomposición de las distintas partes de un cabo de tres cordones tendidos en «Z», tres hilos tendidos en «S» y un número indeterminado de hebras torcidas en «Z».

Con el método de envejecimiento acelerado se puede disponer de un material de experimentación con características de consistencia muy similares a las de las cuerdas degradadas en contextos subacuáticos (Zambrano, Gil y Bethencourt, 2014, pp. 77-82). Asimismo, el método permite obtener material homogéneo con distintos niveles de degradación representativos de la casuística de hallazgos más frecuente en contextos arqueológicos.

El método para la determinación del contenido de humedad máxima (MMC %) es una adaptación de un método bien conocido en la bibliografía especializada (de Jong, 1977, p. 295-338). Este método permite caracterizar el nivel de degradación de objetos de fibras vegetales midiendo la cantidad de agua contenida en la muestra húmeda respecto a la muestra seca. El porcentaje de agua contenida es un indicador claro del agua absorbida a consecuencia de la hidrólisis de la celulosa, principal componente de la fibra vegetal.

El segundo método de caracterización es el ensayo para medir el Índice de Resistencia a la Presión. Este ensayo se basa en métodos que relacionan la degradación del material con la pérdida de resistencia mecánica a la penetración (Zambrano, Gil y Bethencourt, 2014, pp. 77-82). El método permite caracterizar de forma fiable, con sencillez y bajo coste, muestras de cuerda muy deteriorada, tanto arqueológica como artificialmente envejecida (Figura 2).

Minutos	Diámetro 0	Diámetro 1	PRI %
50	4,05	2,35	58,02
65	4,56	1,65	36,18
70	4,78	1,61	33,68

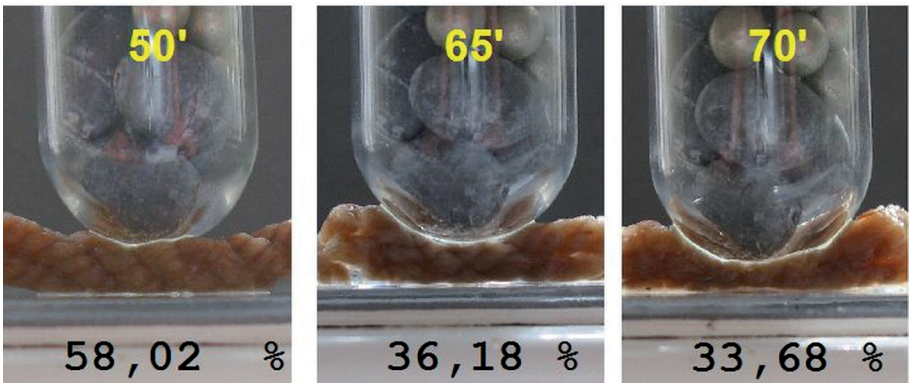


Figura 2. Tabla de PRI % y fotografías de la incidencia deformativa en la sección longitudinal de las muestras de cuerda artificialmente envejecida.

4. Caracterización de los productos de moldeo

Los elastómeros de silicona bi-componentes RTV han demostrado su capacidad para construir moldes flexibles dentro del agua (Zambrano, 1995, pp. 1-16). En las pruebas de laboratorio realizadas se ha observado que la reacción de fraguado es ligeramente afectada por el medio acuático y en ningún caso es un obstáculo para completar el proceso de reticulado.

También se ha comprobado mediante ensayos físicos que tras completarse el proceso de reticulado no existen diferencias significativas entre las muestras curadas en seco y en agua. Algunas

de las diferencias observadas mediante los ensayos físicos han permitido optimizar el método de moldeo subacuático en aspectos relativos a la operatividad.

La más importante aportación al método de moldeo subacuático es la incorporación a la silicona de un aditivo thixotropante para mejorar su manipulación. El elastómero de silicona RTV bi-componente (Silastic 3481 – base), modificado con aditivo thixotropante (Silactic Thixo Additive), posee numerosas ventajas sobre otros elastómeros fluidos en la tarea de moldeo subacuático. La mejor característica del elastómero thixotropado es la posibilidad de control que ofrece en la fase de aplicación.

La viscosidad del elastómero permite construir un molde de forma progresiva y controlada sobre el objeto sumergido. La silicona se adapta de forma manual presionando ligeramente sobre la superficie del objeto, ya se encuentre este en posición horizontal, inclinada o vertical. Solo se requiere un cierto grado de textura para favorecer el agarre del producto. La única limitación del método está, pues, en superficies lisas y posiciones invertidas. Ambas circunstancias no son imposibles, aunque sí bastante improbables en el contexto de la arqueología subacuática.

La incorporación de aditivos fluidificantes aporta mayor plasticidad a la mezcla sin afectar la thixotropía del elastómero modificado. La mayor plasticidad de la mezcla supone reducir la presión necesaria para adaptar el elastómero sobre el objeto. Tres formulaciones del elastómero thixotropado: (1) sin fluidificante, (2) con 5 % de fluidificante y (3) con 10 % de fluidificante, han sido caracterizadas mediante ensayos físicos para conocer tanto el proceso de fraguado como el producto final. Los ensayos físicos se han realizado por duplicado, con mezclas polimerizadas en agua y en seco. Asimismo se han realizado ensayos adicionales con la formulación estándar (recomendada por el fabricante) con la finalidad de comparar las diferentes mezclas. De este análisis se obtienen importantes datos para optimizar el método de moldeo subacuático.

El aditivo thixotropante (Silastic Thixo additive), añadido al 5 % sobre la base del elastómero, aumenta significativamente la viscosidad de la mezcla estándar que pasa de 20.573 mPas (mezcla ST) a 331660 mPas (mezcla V1). El aditivo fluidificante (200 Fluid 50 cs) añadido sobre la mezcla V1 en proporción del 5 % y 10 % proporciona mezclas con menor viscosidad denominadas V2 (249600 mPas - 5 %) y V3 (194933 mPas) respectivamente. Las mezclas resultantes mantienen sus cualidades thixotrópicas a pesar de reducir la viscosidad.

5. Sistema experimental de moldeo controlado

El sistema experimental de moldeo es una innovación que permite realizar ensayos de moldeo con presión controlada (Zambrano, Bethencourt, y Gil, 2016, pp. 302-311). El sistema también permite realizar variaciones en todos los demás factores intervinientes en la operación de moldeo: características del producto de moldeo, del objeto a moldear y del medio ambiente donde se realiza el molde.

Del sistema experimental se obtienen probetas (moldes de silicona) de reducido tamaño (4 x 4 x 2 cm) a partir de las cuales, mediante vaciados, se obtienen copias de escayola u otro material endurecible. El sistema experimental requiere una sencilla instrumentación que puede ser fabricada con un coste reducido. Esta circunstancia hace que el sistema sea accesible para pequeños laboratorios interesados en su empleo.

6. Evaluación de eficacia del procedimiento

La cuantificación del efecto de alteración sobre las muestras degradadas se ha realizado mediante técnicas de análisis creadas ex profeso o adaptadas para esta finalidad. Las técnicas de análisis

empleadas son: 1) determinación del índice de eficacia de la cubrición, 2) ensayo de moldeo sobre muestras no deformables, 3) ensayo de moldeo con silicona no-tixotropada sin presión, 4) análisis de la deformación en sección transversal, 5) análisis de textura con perfilómetro óptico y 6) análisis de textura con microscopía estereoscópica. Este conjunto de técnicas constituye por sí mismo una aportación metodológica para el estudio de alteraciones físicas en muestras muy degradadas.

Los resultados obtenidos en el análisis de alteración sobre muestras moldeadas permiten extraer las siguientes conclusiones agrupadas en los apartados de 1) cubrición y 2) deformación.

La óptima cubrición repercute en mayores garantías de preservar el objeto durante la extracción debido a que la fijación del objeto disminuye los riesgos de disgregación o fractura ocasionados por impactos y vibraciones. La adición de aceite de silicona fluidificante (200 Fluid 50 cs) a la mezcla de moldeo en proporción del 10 % respecto del peso del prepolímero (Silastic 3481 Base) reduce considerablemente la viscosidad del producto desde 331600 mPas (0 % aceite de silicona) hasta 194933 mPas (10 % aceite de silicona).

La viscosidad de la silicona es un factor determinante para la cubrición del objeto en el proceso de moldeo subacuático. Cuanto más fluida es la mezcla de silicona se obtienen mejores niveles de cubrición independientemente del nivel de degradación del objeto.

La presión de moldeo en los niveles analizados (0,98 N —alta—, 0,73 N —media— y 0,49 N —baja—) es un factor de difícil traslación a la intervención manual carente de un control preciso. La interpretación de los resultados permite, sin embargo, comprobar la interacción de este factor con la plasticidad de la silicona y la del objeto degradado.

Los resultados demuestran que la cubrición de objetos muy degradados (grupo D1) empeora considerablemente con altos niveles de presión. La presión ejercida sobre la silicona se transmite hasta el objeto y produce importantes deformaciones volumétricas y texturales. Para los grupos de objetos menos degradados (D2 y D3) se constata que conforme aumenta la consistencia del objeto, el efecto de la presión de moldeo pierde relevancia sobre la calidad de la cubrición (Figura 3).

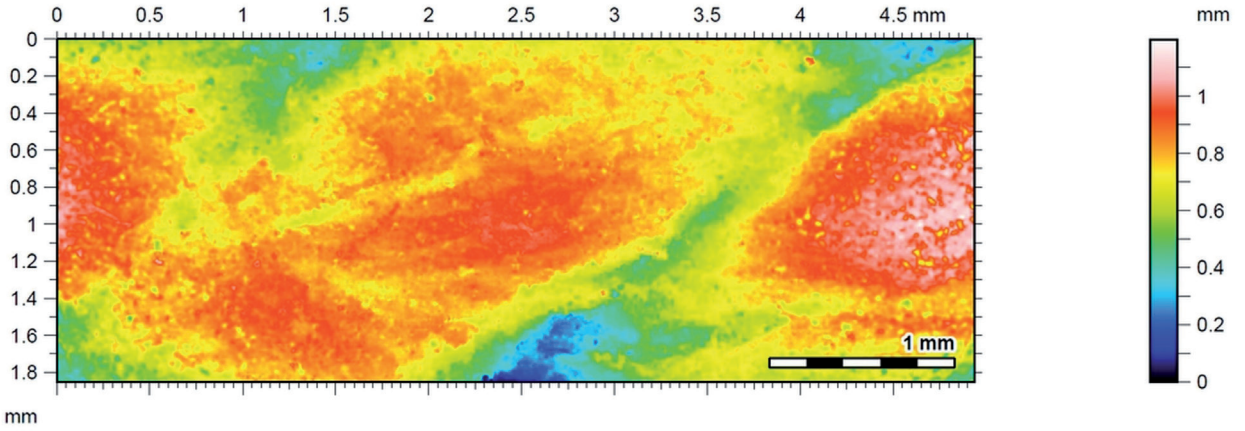


Figura 3. Imagen del perfil de rugosidad para el estudio topográfico de una muestra poco degradada (D3P1V1) con una buena definición de estratos.

7. Tratamiento experimental de consolidación y secado

Consolidar el material superfrágil envuelto por el exoesqueleto de silicona es un paso ineludible para completar la conservación a largo plazo del objeto. Dentro del molde de silicona el

objeto recuperado sigue siendo tan frágil dentro del yacimiento como en el laboratorio de conservación. Esto es así porque el molde cumple la función de embalaje provisional y de nada sirve recuperar con éxito el objeto si al retirar el molde se van a producir alteraciones iguales o incluso mayores que al extraerlo. Así pues, al desarrollar un método de recuperación con molde es inevitable proponer un tratamiento de la pieza superfrágil contenida en el interior del molde de silicona.

El tratamiento de estabilización dimensional propuesto para la conservación de los materiales superfrágiles es la plastinación o técnica de impregnación con polisiloxanos reactivos (Figura 8) desarrollada por Wayne Smith (2003) y empleada con éxito en el Laboratorio del Centro de Arqueología Subacuática del IAPH (Bouzas, Castro y Zambrano, 2008, pp. 108-119). En dicho tratamiento se sustituye el agua contenida en las fibras por silicona capaz de sostener y dar consistencia al material residual. Previamente es preciso interponer un disolvente orgánico de carácter polar (acetona) miscible con ambos componentes. La estabilización de materiales orgánicos moldeados con elastómero de silicona se ha ensayado con varias muestras de cuerda con nivel de degradación D2 siguiendo el método de plastinación con polisiloxanos a temperatura ambiente. Las muestras han sido moldeadas con silicona fluida (formulación estándar del fabricante) dentro de agua. Al cabo de 24 horas, el molde con la muestra en su interior se extrae del recipiente de moldeo y se introduce en un baño de acetona durante 24 horas. Transcurrido ese tiempo se cambia la acetona usada por acetona nueva y se mantiene 72 horas. Finalizado el proceso de deshidratación, la muestra se introduce en la mezcla de aceite de silicona-*crosslinker* dejando reposar 24 horas. Al cabo de ese tiempo se introduce en la campana de vacío y se inicia el proceso de impregnación controlado por la emisión de burbujas. Progresivamente se aumenta el vacío hasta que finalmente cesa la emisión de burbujas, en total 6 horas. Se deja reposar y transcurridas 24 horas se aplican unas gotas de catalizador y se introduce el molde con la muestra en una caja de plástico cerrada conteniendo un algodón humedecido para mantener un ambiente húmedo. Al cabo de 3 horas, la muestra puede ser retirada del molde (Figura 4).

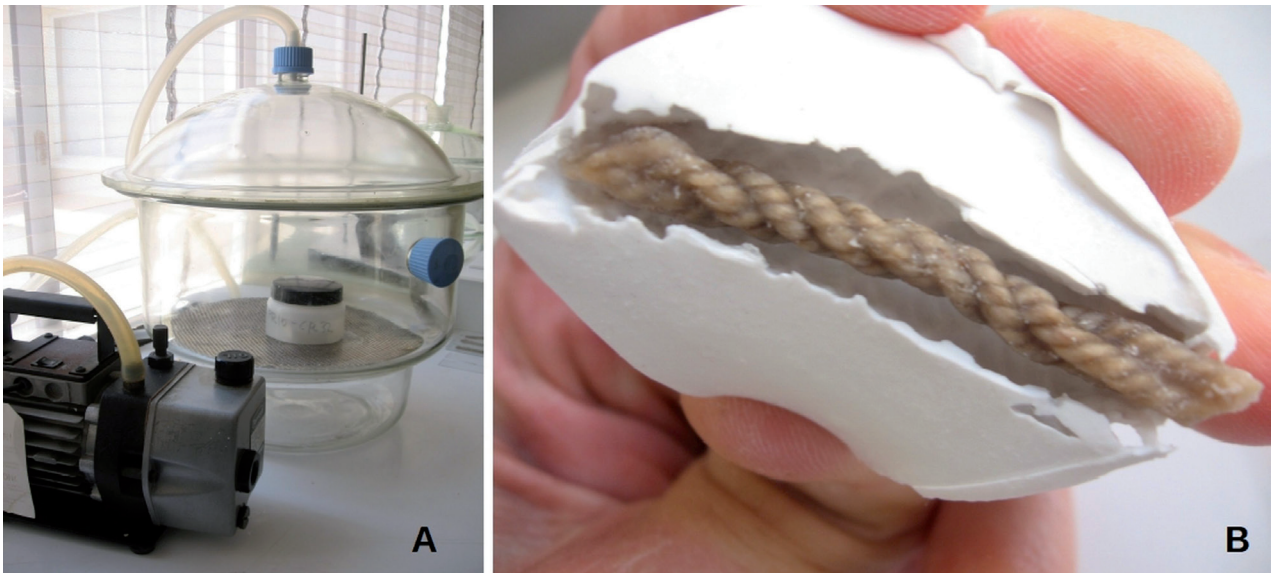


Figura 4. El tratamiento de plastinación se realiza en una cámara de vacío para favorecer la penetración del polímero en el interior del material orgánico (A), posteriormente, cuando se ha completado el proceso de polimerización, se puede extraer la cuerda adecuadamente consolidada (B).

La valoración del tratamiento se ha realizado analizando los aspectos más importantes en la conservación de materiales orgánicos saturados de agua: 1/ estabilidad dimensional, 2/ inercia higroscópica y 3/ alteración del color.

7.1. Estabilidad dimensional

Las dimensiones para comparar la contracción de la muestra tratada (Dp) se obtienen a partir de la muestra plastinizada y seca. Ambas mediciones, iniciales y finales, se obtienen con gran precisión mediante la aplicación informática JMicrovisión, que permite situar los mismos puntos de medición en la copia antes de tratar y en el original después del tratamiento. La escasa desviación dimensional, -2,41 % en anchura y +1,51 % en longitud, experimentada por la muestra tratada demuestra la eficacia del método de impregnación con polisiloxanos sobre objetos moldeados. Llama la atención, sin embargo, la contraria respuesta en función del eje medido: aumento en el longitudinal y contracción en el transversal. Esta diferencia sorprende no tanto por la contracción del diámetro, que es suma de la contracción de las paredes celulares de las fibras, como por el aumento longitudinal.

7.2. Estabilidad higroscópica

Para comprobar la inercia higroscópica del polisiloxano se ha sometido la pieza tratada a un proceso de humectación estática en cámara climática al 75 % HR durante 168 horas (una semana). Para comprobar la captación de humedad se han realizado pesadas cada 12 horas en una báscula de precisión. La muestra no experimenta ganancia de peso. Ante este resultado se ha ensayado la humectación forzada. Se ha pesado la muestra en una balanza de precisión en condiciones de HR 65 % y temperatura 23 ºC, obteniendo un peso de 0,35 g. Posteriormente se ha introducido la muestra en agua desmineralizada llevándola a vacío (5 mm Hg) durante 5 minutos. Transcurrido ese tiempo, se ha quitado el exceso de agua con un ligero toque de papel secante. El peso resultante ha sido de 0,37 g. La muestra ha tenido una ganancia del 5,5 % de peso por el agua absorbida. Sin embargo, no se ha observado ninguna alteración de tamaño. Se interpreta que el agua ha quedado retenida en espacios interfibrilares. Al estar infiltradas en silicona, las fibras son impermeables al agua, pero existen huecos donde puede albergarse este elemento.

7.3. Alteración de color

Para determinar la variación de color entre la pieza sin tratar y la pieza plastinizada se ha empleado un examen visual sobre un código Calleux-Boubeé de colores normalizado. El resultado numérico de los colores identificados para ambas piezas demuestra una variación poco significativa. El color de la muestra húmeda y la muestra plastinizada es muy similar, marrón oscuro (R 69) y marrón (P 70). Por contra, la muestra secada sin tratamiento cambia a un color amarillo aceituna (S 87).

8. Transferencia del conocimiento

En la Convención Unesco 2001 del Patrimonio Cultural Subacuático se recalca la obligación de atender la conservación de los vestigios materiales en el transcurso de excavaciones arqueológicas subacuáticas. Con este fin se recomienda establecer un programa de conservación donde se prevea el tratamiento de los restos en el transcurso de la excavación, en su traslado y a largo plazo. De igual modo, se insta a los Estados firmantes a promover la formación en esta disciplina científica.

La efectividad de dicho programa de conservación dependerá en última instancia de que el equipo humano esté preparado para realizar determinadas intervenciones, como son el izado de objetos voluminosos, la recuperación de objetos superfrágiles o el embalaje provisional de objetos metálicos, orgánicos o silíceos. Igualmente, resultará útil conocer técnicas de registro no-destructivo como el moldeo subacuático con polímeros sintéticos, un recurso especialmente valioso para la conservación *in situ*.

Esta idea, derivada de las recomendaciones de la Convención de Unesco 2001, ha sido el motor de un curso dirigido a estudiantes y profesionales del Patrimonio Cultural Subacuático, tanto arqueólogos como conservadores-restauradores de arqueología, interesados en ampliar sus competencias en las técnicas de conservación. Dicho curso de especialización (Figura 5) celebrado en 2019, se enmarca en el programa de la Escuela Internacional Doctoral en Estudios del Mar (EIDEMAR), perteneciente al Campus de Excelencia Internacional del Mar (CEI-Mar).

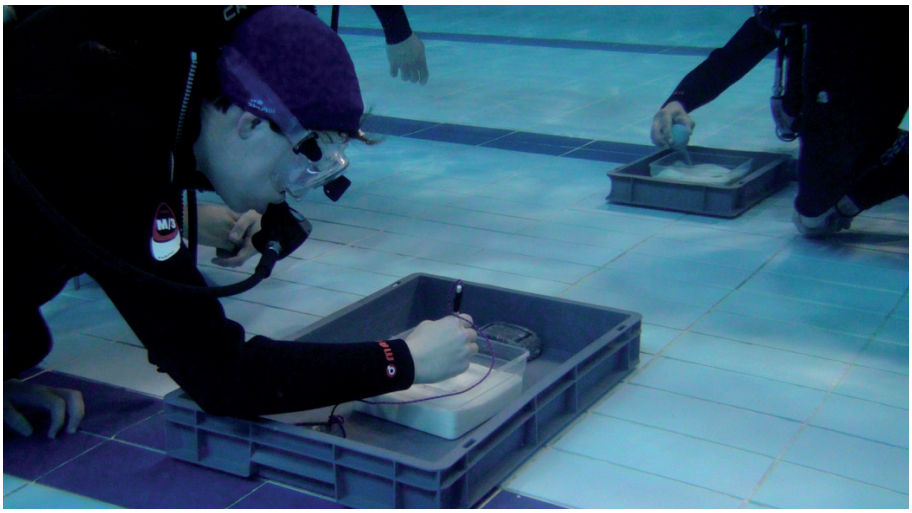


Figura 5. Prácticas de excavación y moldeo subacuático en aguas confinadas con fragmentos de cabuyería artificialmente envejecida durante el curso de especialización EIDEMAR 2019 - UCA.

El curso para 10 alumnos con 25 horas presenciales, de las cuales 15 de prácticas, se estructuró en 6 bloques temáticos: 1/ método y técnica de la arqueología subacuática, 2/ el programa de conservación en arqueología subacuática, 3/ la conservación preventiva de cerámica y materiales pétreos, 4/ la conservación preventiva de objetos metálicos, 5/ la conservación preventiva de objetos orgánicos y 6/ el moldeo subacuático; recurso de investigación y conservación.

9. Conclusiones

Se concluye que el método de moldeo subacuático, combinado con la infiltración de polímeros de silicona, constituye una medida de conservación útil para el tratamiento de objetos orgánicos extremadamente frágiles en yacimientos subacuáticos. Los principales logros de esta investigación relacionados con la metodología de moldeo se detallan a continuación.

La extracción segura del objeto fragilizado exige un buen nivel de cubrición en el moldeo. Sin embargo, la práctica del moldeo para extraer objetos de fibras muy fragilizados puede ser contraproducente si se emplean parámetros erróneos de presión de moldeo y viscosidad de silicona.

La presión adecuada del elastómero sobre el objeto es la mínima necesaria para adaptar la silicona sobre el sustrato independientemente del nivel de degradación del objeto. El incremento de presión no mejora sustancialmente la calidad de la cubrición y constituye en sí mismo un riesgo para la integridad del objeto.

La deformación volumétrica y textural del objeto sometido a moldeo está directamente relacionada con su nivel de degradación. Independientemente de los niveles de presión de moldeo y viscosidad de la mezcla, las muestras analizadas tienen menos deformación cuanta mayor consistencia presentan.

La forma del objeto (volumen) y el relieve (textura) son valores documentales que deben preservarse durante la operación de moldeo. Los ensayos de presión y viscosidad sobre muestras muy degradadas demuestran que la preservación volumétrica (forma) y textural (relieve) no se comportan de forma correlativa.

La mezcla de silicona más viscosa produce un efecto de compactación estructural que contribuye a preservar la forma del objeto. Al mismo tiempo, se produce un efecto de borrado sobre el relieve del objeto, tanto más acusado cuanto menor es el tamaño del elemento estructural. La mezcla de silicona más fluida permite un registro con mayor definición del relieve. Por el contrario, este factor produce un efecto de disgregación estructural que distorsiona la forma del objeto.

La consolidación del objeto moldeado mediante un sistema de infiltración forzada con polímeros de silicona es una técnica verificada mediante los ensayos realizados con probetas de cordelería de cáñamo artificialmente envejecida. La eficacia del tratamiento se comprueba con resultados satisfactorios en los análisis de estabilidad dimensional, estabilidad hídrica y alteración del color.

Finalmente, la transmisión del conocimiento metodológico ha sido posible a través de un curso de especialización teórico-práctico donde estudiantes de doctorado han adquirido los contenidos y destrezas necesarios para aplicar el procedimiento de moldeo subacuático.

Agradecimientos

El contenido principal de este artículo es un extracto de la tesis doctoral *Desarrollo de Técnicas de Moldeo In Situ con Polímeros Sintéticos Aplicados a la Conservación del Patrimonio Arqueológico Subacuático,* codirigida por Manuel Bethencourt Núñez y M. Luisa Almoraima Gil Montero en el Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica y Química Inorgánica, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales de la Universidad de Cádiz, año 2015.

Dicho trabajo de investigación ha sido posible gracias al apoyo económico recibido por parte del proyecto incluido en el Plan Nacional de I+D+I/FEDER: Estudio de la influencia de las condiciones físicas, químicas y biológicas en el deterioro y salvaguarda del Patrimonio Histórico Subacuático (ARQUEOMONITOR), Referencia CTM2010-16363.

Referencias

Bouzas, A., Castro, J. M. y Zambrano, L. C. (2008). Tratamiento de la madera arqueológica saturada de humedad por el método denominado plastinación. *PH Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 65, 108-119.

Charlton, W. (1996). *Rope and the art of knot-tying in the seafaring of the ancient eastern Mediteranean*. Tesis doctoral no publicada. Texas A&M University.

De Jong, J. (1977). Conservation techniques for old waterlogged woods from shipwrecks found in Netherlands. En A. H. Walters (Ed.), *Biodeterioration Investigation Tecniques* (pp. 295-338). Applied Science.

Shimony, C., Yucha, R. y Werker, E. (1992). Ancient anchor ropes from the dead sea. *Atiqot*, 21, 58-62.

Smith, C. W. (2003). *Archaeological conservation using polymers. Practical applications for organic artifacts stabilization*. Texas A&M University Press. College Station.

UNESCO (2001). *Guidelines to the Annex of the UNESCO 2001 Convention Published in 2013 by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization Endorsed by the Scientific and*

Technical Advisory Body of the 2001 Convention on the Protection of the Underwater Cultural Heritage.

Zambrano, L. C. (1995). *Nuevo procedimiento para la obtención de moldes subacuáticos. España, Patente de invención: ES2 119 649. 9501565 1995 08 95.* Oficina Española de Patentes y Marcas.

Zambrano, L. C., Gil, M. L. y Bethencourt, M. (2014). Physical characterization of super-fragile materials in underwater archaeological sites. En M. A. Rogerio-Candelera (Ed.), *Science, Technology and Cultural Heritage* (pp. 77-82). CRC Press/Balkema.

Zambrano, L. C. (2015). *Desarrollo de técnicas de moldeo in situ con polímeros sintéticos aplicados en la conservación del Patrimonio Arqueológico Subacuático*. Tesis doctoral no publicada. Universidad de Cádiz.

Zambrano, L. C., Bethencourt, M. y Gil, M. L. A. (2016). Recovery of super-fragile materials in underwater sites with silicone elastomers. En R. Castillo Belinchón, A. Ramírez Pernía y L. A. Torres Sobrino (Eds.), *Proceedings of the 5th International Congress on Underwater Archaeology IKUWA V, Cartagena, del 15 al 18 de octubre de 2014* (pp. 302-311). Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Disponible en: <https://www.libreria.culturaydeporte.gob.es/libro/actas-del-v-congreso-internacional-de-arqueologia-subacuatica-ikuwa-v_3556/>.

Construcción de la nueva terminal de contendores de Cádiz: pecio *Delta I*. Traslado del pecio

Milagros Alzaga García
Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico
Centro de Arqueología Subacuática
milagros.alzaga@juntadeandalucia.es

Carmen García Rivera
Centro de Arqueología Subacuática
carmen.garcia.rivera@gmail.com

Antonio Ruiz Vega
Autoridad Portuaria de la Bahía de Cádiz
amruiz@puertocadiz.com

José Manuel Higueras-Milena Castellano
Tanit Gestión Arqueológica
kikosub@gmail.com

Mercedes Gallardo Abárzuza
Tanit Gestión Arqueológica
merchegallardo@gmail.com

Resumen: Como consecuencia de la construcción de la nueva terminal de contenedores en el puerto de la ciudad de Cádiz (Andalucía, España), se localizaron tres pecios a los que se les denominó *Delta I, Delta II* y *Delta III.*

En concreto, el pecio *Delta I* se ubicaba justo en la zona en la que tenían que ir alineados los cajones que debían formar el frontal del futuro muelle. Esta circunstancia, unida a la situación de inestabilidad en la que los restos habían quedado, por acción del dragado acometido, hizo necesario trasladar el pecio *Delta I* a una ubicación que permitiese tanto la continuación de la obra de infraestructura como la realización de los trabajos arqueológicos con una mayor seguridad y visibilidad.

Para poder trasladar este pecio fue necesario redactar, por parte de la Autoridad Portuaria de la Bahía de Cádiz, y aprobar, por parte de la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía, un proyecto que contemplaba tanto el tipo de estructura a emplear como las acciones necesarias para llevar a cabo esta delicada operación.

A lo largo de las siguientes páginas se analizarán los motivos que dieron lugar a esta acción, así como los trabajos que debieron acometerse en este sentido.

Palabras clave: Arqueología subacuática, pecio *Delta I,* nueva terminal de contenedores, Cádiz, traslado pecio.

Abstract: Because of the construction of the New Container Terminal in the port of the city of Cadiz (Andalusia, Spain), three wrecks were located, which were named *Delta I, Delta II* and *Delta III*.

Specifically, the *Delta I* wreck was located right in the area where the caissons that were to form the front of the future quay were to be placed. This circumstance, together with the unstable situation in which the remains had been left due to the dredging work carried out, made it necessary to move the *Delta I* wreck to a location that would allow both the continuation of the infrastructure work and the archaeological work to be carried out with greater safety and visibility.

In order to move this wreck, it was necessary for the Bay of Cadiz Port Authority to draw up, and for the Regional Ministry of Culture of the Andalusian Regional Government to approve, a project which contemplated both the type of structure to be used and the actions necessary to carry out this delicate operation.

The following pages will analyze the reasons that led to this action, as well as the work that had to be undertaken in this regard.

Keywords: Underwater archaeology, *Delta I* wreck, new container terminal, Cadiz, wreck relocation.

Introducción

Debido a las expectativas de incremento de tráfico de contenedores previstos en la bahía de Cádiz, la Autoridad Portuaria se planteó la construcción de una nueva terminal adosada al dique de levante y al muelle de armamento exterior a la dársena comercial. De esta forma, tras su construcción, se liberaría el terreno que ocupa la actual terminal, situada dentro de dicha dársena, el cual se destinaría al atraque de cruceros.

Por otro lado, tras la ejecución de esta obra de infraestructura, la separación del tráfico de mercancías de la zona de tráfico de pasajeros se convertiría en una realidad, optimizando la explotación del puerto y mejorando su imagen.

Para ello, se consideró necesario construir la nueva terminal de contenedores en el puerto de Cádiz, con una longitud de 1000 m de línea de atraque, dividida en dos fases de ejecución. Esta nueva construcción se encuentra cerrada por el este por el muelle n.º 5, por el sur por el dique de levante y por el oeste por un dique, de nueva construcción, con taludes exteriores muy tendidos (dique en «S») con el objeto de minimizar la agitación en la bocana del puerto. De la misma forma, se consideró necesario realizar unos rellenos para crear una explanada de un total de 38 ha para el almacenamiento de los contenedores. La zona de atraque contaría con un fondo de -16,00 m de calado (Figura 1).



Figura 1. Infografía de la nueva terminal. Fuente: Proyecto de obra de la nueva terminal de contenedores de Cádiz. Autoridad Portuaria de la Bahía de Cádiz.

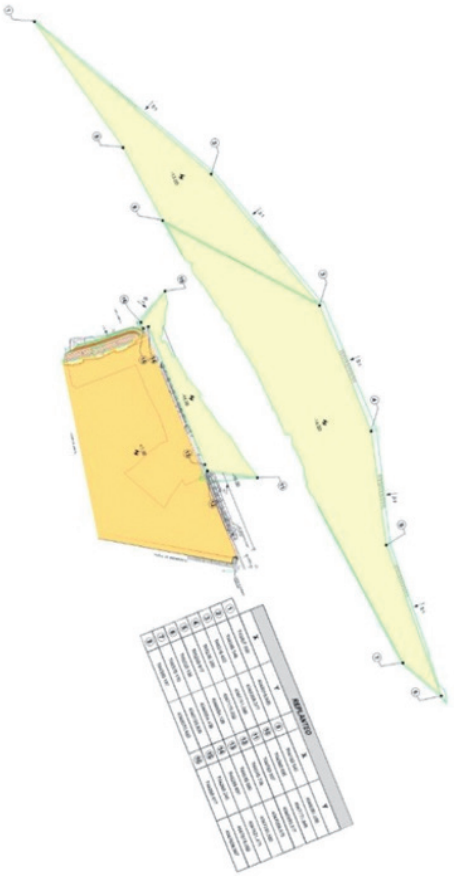


Figura 2. Plano de la explanada de la terminal y la zona de dragado para maniobra y reviro de las embarcaciones. Fuente: Proyecto de obra de la nueva terminal de contenedores de Cádiz. Autoridad Portuaria de la Bahía de Cádiz.



Figura 3. Proceso de construcción de la nueva terminal. Fuente: Proyecto de obra de la nueva terminal de contenedores de Cádiz. Autoridad Portuaria de la Bahía de Cádiz.

De la misma forma, para asegurar las maniobras de los grandes buques, se consideró necesario efectuar un dragado general tanto para la zona de reviro frente a la nueva terminal como para el canal de acceso, variando sus cotas entre -13,00 m —en el área de transición—, -14,50 m —en la zona de reviro—, y -16,00 m enfrente del muelle. En total, se estimó un volumen de dragado de 3856532,942 m^3 (Figura 2).

El muelle proyectado se construyó por medio de la colocación de cajones flotantes de hormigón armado. La cota de excavación para la eliminación de fangos y lograr una cimentación adecuada fue variable, oscilando entre los -19,00 y -17,50 m, siendo necesario, a continuación, realizar un vertido de escollera de 25 a 50 kg hasta alcanzar la cota -16,00 m.

La explanada se obtuvo mediante la realización de un relleno general procedente de préstamos marítimos y terrestres, además de un relleno seleccionado de 1,00 m de espesor en coronación con base de zahorra artificial y un acabado con un pavimento portuario.

El cantil del muelle estaba formado por una superestructura de hormigón completada con la colocación de un drenaje de la explanada para la evacuación de aguas pluviales, la instalación de agua potable y alumbrado, así como defensas y bolardos para el atraque de buques (Figura 3).

Todo este proyecto, siguiendo la legislación vigente, fue sometido al proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), donde se contemplaron las cautelas establecidas por parte de la Delegación Territorial de Cultura de la Junta de Andalucía en Cádiz, las cuales estaban encaminadas a minimizar la afección que la obra pudiese tener sobre el posible patrimonio arqueológico subacuático existente en la zona, dado que la misma se localiza, en una pequeña parte, en la Zona Arqueológica denominada «Canal de entrada al Puerto de Cádiz», inscrita en el Catálogo General del Patrimonio Histórico de Andalucía con la categoría de Bien de Interés Cultural (BIC) (Decreto 285/2009, de 23 de junio, en *BOJA*, 129, de 6 de julio de 2009) (Figura 4), mientras que toda el área objeto de actuación se encuentra localizada en la Zona de Servidumbre Arqueológica denominada «Espacio Subacuático Bahía de Cádiz», declarada como tal por la Orden de 20 de abril de 2009 (*BOJA,* 101, de 28 de mayo de 2009) (Figura 5).

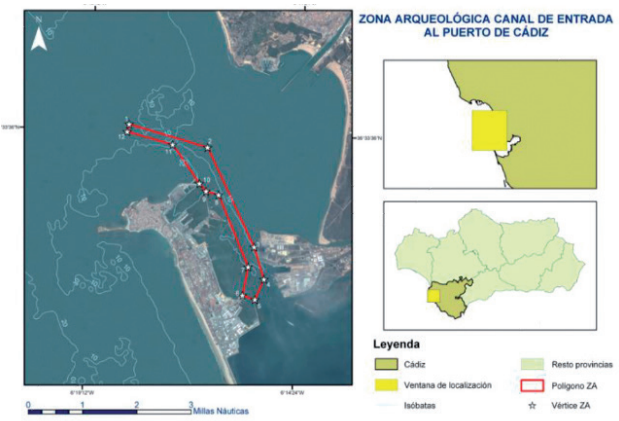


Figura 4. Delimitación de la Zona Arqueológica.

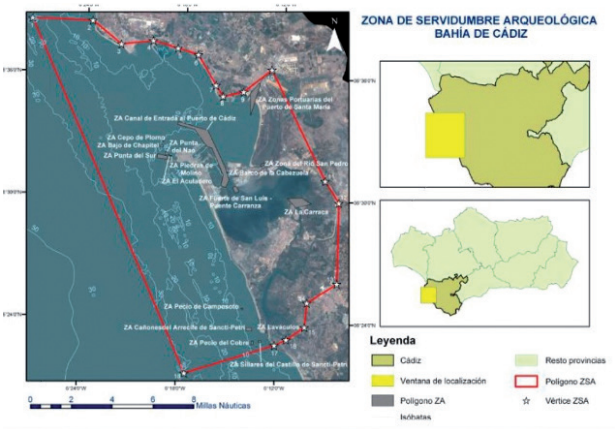


Figura 5. Delimitación de la Zona de Servidumbre Arqueológica.

En este sentido, debe tenerse presente que la Convención para la Protección del Patrimonio Cultural Subacuático, promulgada por la Unesco en el año 2001, expone la necesidad de dar una respuesta adecuada al posible impacto negativo que las actividades legítimas puedan ocasionar sobre dicho patrimonio.

Así, desde la Consejería competente en materia de patrimonio histórico de la Junta de Andalucía, se establecía que, con carácter previo a la ejecución de la obra, se debía completar el estudio geofísico efectuado en el año 2008, procediéndose a la comprobación de las anomalías detectadas, así como a la realización de una red de sondeos. En consecuencia, se efectuaron un total de 73 sondeos por medios mecánicos en la zona de afección de la nueva terminal, de los cuales 13 se efectuaron en la zona de construcción de la zanja para el muelle y 60 en la zona de maniobras, sin que se localizaran evidencias arqueológicas.

De la misma forma, la referida EIA contemplaba que durante la ejecución de la obra se realizaría un control arqueológico de movimientos de tierras durante toda la fase de dragado, efectuándose prospecciones arqueológicas subacuáticas en el caso de extracción de material que indicara la existencia de pecios en la zona, con el fin de evaluar la importancia de los restos, su estado de conservación, así como las actuaciones que deberían efectuarse, especificándose la posibilidad de establecer nuevas medidas cautelares en el caso de localizarse pecios en la zona.

Fue durante esta fase cuando, tras la eliminación de unos 7-9 metros de fango compacto por parte de las dragas, se produjo la localización de dos pecios históricos a los que se denominó *Delta I* y *Delta II* (Figura 6). Estos nombres dados a los restos venían motivados por la cercanía de la nueva



Figura 6. Zona de localización de los pecios. Fuente: Google Earth. Elaboración propia.

terminal de contenedores a un espacio en el que, hasta el año 2006, existía una planta de desgasificación y limpieza de tanques denominada «Delta».

La localización de estos pecios arqueológicos conllevó el establecimiento, por parte de la Consejería competente en materia de patrimonio histórico, de un área de protección en toda la superficie que conformaría la nueva frontal del muelle y que englobaba ambos pecios, impidiéndose en la misma la realización de trabajos relacionados con la obra hasta que se llevase a cabo un diagnóstico general del área y se determinase y ejecutasen las actuaciones arqueológicas necesarias. En concreto, para el pecio *Delta I* se estableció un área de protección de 70 x 200 metros en torno a este (Figura 7).

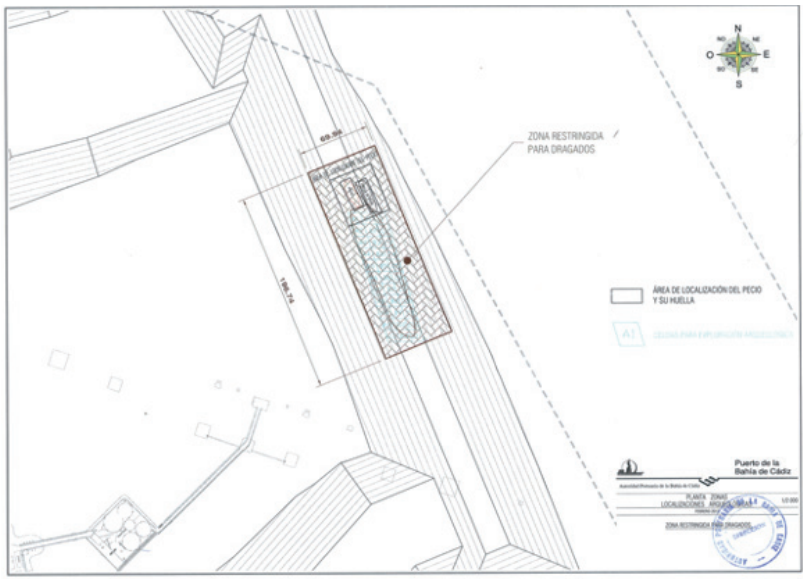


Figura 7. Zona de protección pecio *Delta I*. Fuente: Autoridad Portuaria Bahía de Cádiz.

Así, se realizó un diagnóstico del área, para lo cual se efectuaron prospecciones arqueológicas con medios geofísicos y mediante especialistas en arqueología subacuática.

Las prospecciones geofísicas efectuadas estaban encaminadas a la localización de restos arqueológicos y para su ejecución se emplearon los siguientes sistemas:

a) Sonar de barrido lateral.

b) Sonda multihaz.

c) Magnetómetro.

d) Penetrador de fondos.

Estas prospecciones depararon datos relativos a las características de los yacimientos y generaron nuevas medidas cautelares:

– Excavación en extensión de los pecios localizados.

– Estudio arqueológico del entorno de ambos pecios.

– Establecimiento de las medidas de conservación y protección necesarias encaminadas a la salvaguarda de los restos de arquitectura naval, así como a la estabilización de los bienes arqueológicos de distinta naturaleza extraídos durante los trabajos arqueológicos.

Localización pecio *Delta I*

Para la construcción de la nueva terminal de contenedores era necesario, tras la realización de la zanja de cimentación, colocar, sobre esta, una escollera de piedra, un enrasado de grava y, finalmente, un total de 14 cajones que constituirían el frontal del muelle, es decir, la futura zona de atraque de los buques portacontenedores.

Durante el control arqueológico del dragado, al mes de su inicio y tras haber eliminado una columna de 7-9 metros de fango, se localizaron elementos estructurales de una embarcación, así como un lingote de plata. Ante esta circunstancia, se ordenó por parte de la Consejería de Cultura la paralización de las obras en esa zona y la realización de inmersiones de reconocimiento. Estas inmersiones se llevaron a cabo con una visibilidad muy reducida, pudiéndose comprobar la existencia de un pecio —al que se denominó *Delta I*— a una profundidad que oscilaba entre los -16 y los -19 metros, en un fondo fangoso y en el que únicamente se podían efectuar trabajos arqueológicos en función de los vientos reinantes y durante los reparos de la marea, que tiene una carrera en esta zona de hasta 3,90 metros.

Durante las inmersiones llevadas a cabo se pudo comprobar también que el pecio se encontraba en una situación inestable, sobre un montículo de fango, dado que la draga había eliminado el sedimento que había a cada banda del barco, dejando los restos en una peana similar a como se puede ver en la Figura 8, lo que podía provocar su derrumbe.

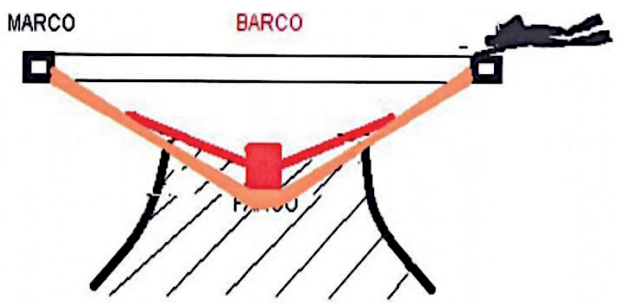


Figura 8. Situación en la que quedó el barco sobre una peana.

Esta inestabilidad hacía necesario apuntalar o asegurar determinadas zonas del pecio en previsión de que, en el momento de su excavación, pudiera abrirse al verse liberado del peso que soportaba en su interior, poniendo en peligro la integridad tanto del personal especializado en arqueología subacuática que en ese momento estuviesen ejerciendo su trabajo en el pecio como del propio bien cultural.

Para conocer el estado del pecio y la extensión de superficie sobre la que se encontraban restos del mismo, fuera del pecio en sí, se encargó la realización de una nueva prospección con medios geofísicos: sonar de barrido lateral (Figura 9), magnetómetro y penetrador de fondos.



Figura 9. Situación de los restos del pecio *Delta I*. Fuente: Autoridad Portuaria Bahía de Cádiz.

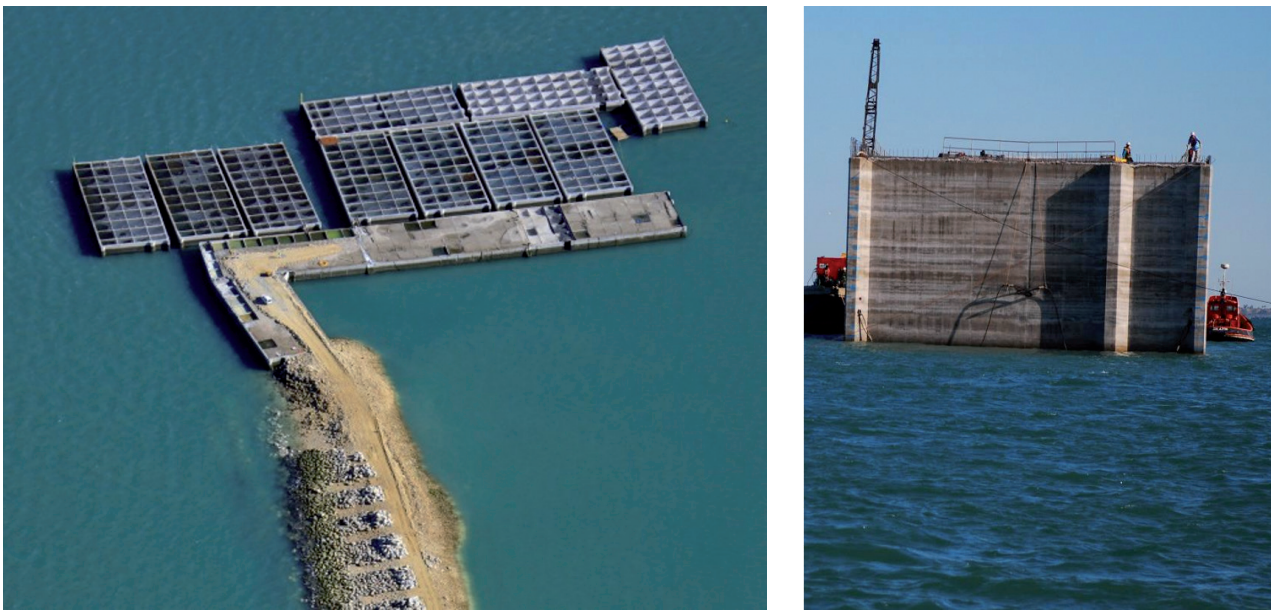


Figura 10. Situación del pecio *Delta I* y vista lateral de uno de los cajones.

Por otro lado, se debe tener presente la situación en la que estaba el pecio en relación con la ejecución de la obra de infraestructura que se estaba ejecutando, dado que se localizaba en el área en la que debía crearse la baqueta de cimentación sobre la cual tenía que ir colocado uno de los cajones que conformarían el frontal del muelle (Figura 10).

Traslado del pecio *Delta I*

Dada la situación anteriormente señalada, desde la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía se le indicó a la Autoridad Portuaria de la Bahía de Cádiz la imposibilidad de continuar con la obra de infraestructura mientras el pecio se encontrase ubicado en la zona en la que se había localizado.

Ante esta circunstancia, la Autoridad Portuaria decidió trasladar el pecio a una zona de menor profundidad que había sido previamente acondicionada y que se localizaba a unos 600 metros de su ubicación original. Este espacio ofrecía mejoras tanto en las condiciones de visibilidad como en un incremento del tiempo de estancia en el fondo para la ejecución de los trabajos, rentabilizando así la investigación que había que llevar a cabo. Por otro lado, este traslado permitía también la continuación de la obra.

Tras la redacción de un proyecto de traslado del pecio *Delta I,* realizado por el Departamento de Infraestructuras de la propia Autoridad Portuaria y contando con la empresa auxiliar DiverShip en el desarrollo de las operaciones submarinas, este fue aprobado por la Consejería de Cultura, dado que garantizaba no solo la integridad de los restos, sino también la información histórica que pudiesen proporcionar. Se procedió, de esta forma, a la ejecución de los trabajos que conllevarían el traslado del pecio.

Para ello, desde la Autoridad Portuaria de la Bahía de Cádiz se encargó la construcción, en terrenos de los Astilleros de Navantia en Cádiz, de una estructura que permitiese la realización de esta complicada maniobra.

Una estructura que estaba conformada por un marco de vigas de acero que debía ser colocado en torno a los restos del barco y sobre el mismo. Este marco, tal y como se recoge en el proyecto redactado, se construyó con vigas de doble T.

De la misma forma, y debido a la escasa visibilidad existente en el fondo, se consideró necesario que cada una de las bandas de la estructura se distinguiesen por estar pintadas en colores distintos (una en rojo y la otra en amarillo) para que, una vez colocada sobre el pecio, el personal que estuviese llevando a cabo los trabajos pudiese distinguir la zona en la que se encontraban (Figura 11).



Figura 11. Estructura para el traslado del pecio *Delta I*. Fotografía: IAPH. Autora: Carmen García.

Para que la estructura pudiese ser trasladada con seguridad se consideró necesario dotarla de un sistema de enganches que, soldados a las vigas, se emplearan para la fijación de los cables de acero que se utilizaron para separar la estructura y el pecio del fondo unos 11 metros, de tal forma que pudiese ser trasladado hasta el recinto en el que se debía depositar.

Por otro lado, se soldaron también unos enganches que tenían como misión servir de elementos en los que colocar cinchas de gran anchura que, una vez pasadas bajo a los restos del navío, tenían como finalidad sustentarlo. Cada uno de estos enganches estaban numerados de tal forma que la cincha que se correspondía con un número en la banda roja debía sujetarse en el enganche del mismo número en la banda amarilla, eliminando así cualquier posibilidad de error debido a la escasa visibilidad existente (Figura 12).



Figura 12. Enganches numerados para colocación de las cinchas.

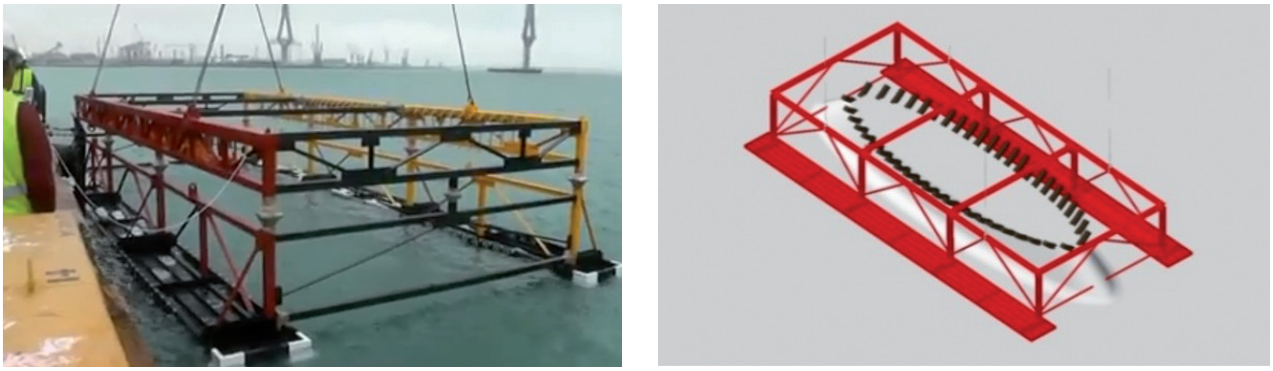


Figura 13. Inmersión de la estructura y croquis de su ubicación sobre el pecio.

Una vez finalizada la fabricación de la estructura, se procedió a introducirla en el agua y a transportarla hasta el pecio, posicionándose sobre el mismo a modo de caja invertida, como se puede ver en la Figura 13.

Posteriormente, fue necesario atravesar la peana que sustentaba los restos con lanzas de agua, efectuando perforaciones por las que se fueron introduciendo las cinchas anteriormente mencionadas. Hay que tener presente que la separación entre las mismas nunca superó los 20 cm (Figura 14).

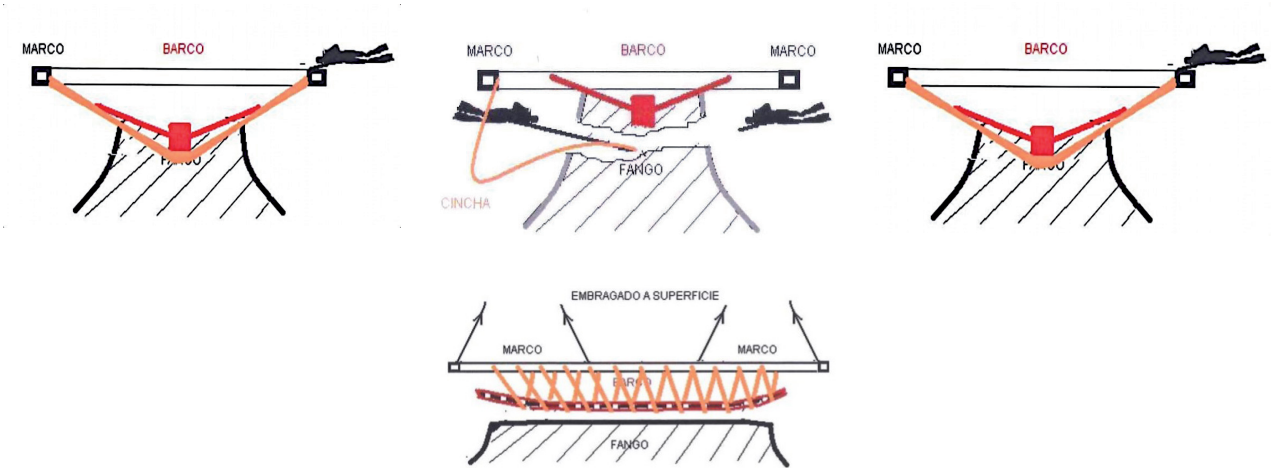


Figura 14. Croquis del cinchado del pecio.

En paralelo a la fabricación de esta estructura, se colocó una malla de geotextil en la parte superior del pecio, cubriendo toda su superficie, ajustando sus extremos en las propias eslingas, quedando el conjunto superior totalmente cerrado, evitando así que, durante el traslado, se produjese algún deterioro o pérdida de bienes arqueológicos.

Todos los trabajos de movimiento de la estructura y posteriormente del pecio se efectuaron empleando un barco-pontona —el Santa Cruz de Tenerife—, al que se le habían colocado 4 gatos hidráulicos de gran precisión (Figura 15).

Así se inició el ascenso de la estructura y el pecio, de una forma muy controlada y, en una maniobra que duró 16 horas. Se pudo trasladar hasta su nueva ubicación a un espacio cercano a la zona donde se estaba ejecutando la obra, localizado en una profundidad que oscila entre los 8-9 metros y en un entorno protegido, no solo del tráfico marítimo, sino también de corrientes. Por otro lado, y dado que el espacio estaba videovigilado, se evitaba que los restos pudiesen ser objeto de un posible expolio.



Figura 15. Pontona Santa Cruz de Tenerife. Vista de dos de los gatos hidráulicos.

Cuando se llegó a la zona en la que se iba a depositar el pecio se inició su arriado en una maniobra lenta que permitiese tanto un contacto suave de los restos con el fondo como que la estructura de madera se fuese adaptando al nuevo lecho marino en el que debía posarse.

Unas últimas inmersiones para inspeccionar la situación en la que se encontraba el pecio en su nueva ubicación confirmaron que este no había sufrido daño alguno durante el procedimiento de izado, traslado y descenso, lo que posibilitó que se diera la orden para el soltado de las eslingas que lo mantenían unido a la estructura empleada, dándose así por concluida la maniobra.

Todo el proceso anteriormente descrito puede ser visualizado en un vídeo elaborado por la Autoridad Portuaria de la Bahía de Cádiz en el que se muestra el proceso de fabricación de la estructura, su colocación sobre el pecio y su depósito en la zona establecida. Sin embargo, hay que tener presente que no fue posible tomar imágenes subacuáticas del momento del traslado del pecio, tanto por motivos de seguridad como debido a la escasa visibilidad: https://www.youtube.com/watch?v=pjBafuMwc5k

Una vez trasladado el pecio *Delta I* a su nueva ubicación, se procedió a la realización de dos trabajos paralelos: la excavación de los restos del navío y la prospección de la zona en la que se ubicaba en origen, así como el posterior seguimiento arqueológico del dragado de la peana que lo sustentaba junto con el entorno de su posición inicial. Este dragado, realizado por medio de un gánguil autoportante, se llevó a cabo efectuando previamente un reticulado virtual de la zona de tal forma que, en todo momento, se podía saber la cuadrícula en la que se estaba excavando, al ser visible, en monitores, tanto el propio reticulado como la posición GPS de la cuchara del gánguil que efectuaba la extracción de sedimentos de forma controlada.

El gánguil estaba dotado de una rejilla que, colocada sobre la cántara, impedía el paso del material arqueológico. Todo esto posibilitó que el material pudiese posicionarse en un plano de dispersión bastante exacto.

En este sentido, no se debe olvidar que se estaba llevando a cabo una intervención arqueológica en una obra de infraestructura donde la investigación estaba asociada a la necesidad de ejecutar la nueva terminal de contenedores.

Entre los materiales localizados durante los trabajos llevados a cabo en la peana sobre la que se sustentaba el pecio, hay que destacar la existencia de:

– 27 piezas de artillería y hierro de producción sueca conocidas como Finbanker. En el muñón izquierdo de 8 de los cañones se ha podido identificar la existencia de la letra «H», marca establecida por la fundición sueca de Husbey, que estuvo en funcionamiento entre los años 1643 y 1800.
– 21 piezas de plata, de las cuales 18 tenían forma de lingote o barra (Figura 16) y 3 en forma de tejo (Figura 17). Los lingotes o barras procedían de la Caja Real de Potosí, la cual estuvo en funcionamiento entre 1575 y 1767, así como de la Caja Real de Oruro, que mantuvo su producción entre 1607 y finales del siglo XVII.

  Gracias a los cuños que presentan se ha podido saber que se trata de piezas fundidas después del año 1651, momento en el que la Corona estableció las «Ordenanzas que han de guardar los ensayadores en el Perú», en las que se puntualizaba que el ensayador debía grabar, además de su nombre, la fecha de fundición y el valor del marco de plata en «dineros y granos», abandonando así la costumbre de marcarlo en maravedís (León y Solórzano, 1680, t II, 147).

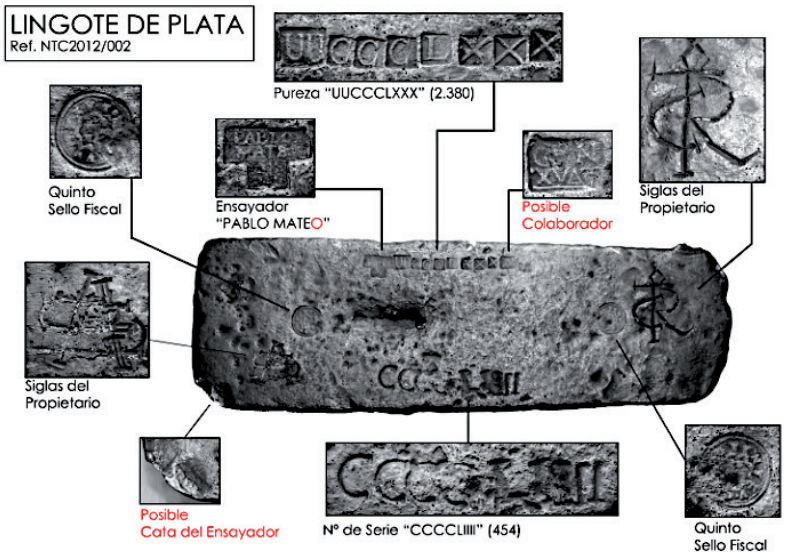


Figura 16. Lingote de plata. Fotografía: IAPH. Autora: Nuria Rodríguez.

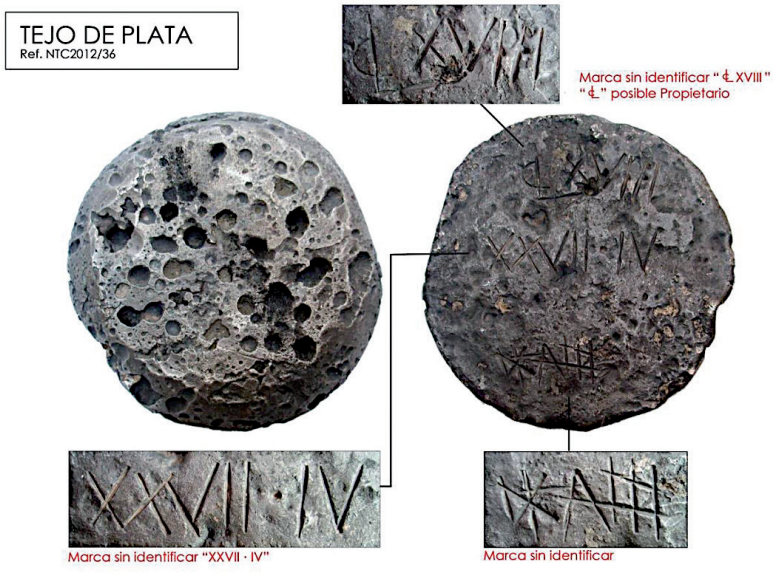


Figura 17. Tejo de plata.. Fotografía: IAPH. Autora: Nuria Rodríguez).

– Una campana de bronce con la inscripción «Jesús, María y José 1671».
– Monedas macuquinas en circulación desde 1652.
– Cuatro compases de bronce —3 tipo arco y 1 recto— pertenecientes cronológicamente a la segunda mitad del siglo XVII.



Figura 18. Astrolabio. Fotografía: TANIT. Autor: José Manuel Higueras-Milena.

– Un astrolabio de bronce de fabricación española, fabricado en el año 1606 y que pertenece a la tipología Ia5 establecida por Waters, Stimson y Castro (Figura 18).

– Un ponderal de bronce que presenta en el reverso un escudo con un motivo del sol bajo corona (Francia) y por el anverso los símbolos II M D XV (dos deniers 15 grains), la masa teórica de esa moneda podría ser 3,4 gramos (Higueras-Milena, Gallardo y Ruiz, 2013, p. 258; Higueras-Milena y Gallardo, 2016, p. 264).

– Elementos de la vida a bordo, como suelas de zapatos, alimentos, pipas de caolín, hebillas, así como cerámica diversa de la que destacan las botijas —que procederían sobre todo de alfares de Triana (Sevilla)—, y piezas cerámicas de origen portugués, español e italiano de la segunda mitad del siglo XVII.

Todo este material, así como la realización de un pormenorizado estudio de su arquitectura naval (Figura 19), llevó a concluir que se trataba de un barco militar del siglo XVII, del que se conservaban 20 metros de eslora por 6 de manga, y de su estructura solo el plan. Presentaba un tipo de construcción robusta, que le permitía navegar por el Atlántico, con cuadernas de doble espesor separadas por un espacio mínimo a modo de claras. La unión de varengas y genoles estaba realizada por medio de dos hileras de pernos de hierro (Alzaga, García, Gallardo *et al.*, 2019, p. 28).

Una vez finalizada la intervención arqueológica se procedió a cubrir los restos colocándose el sedimento original sobre la madera, así como geotextil, lastre y capas de arena.

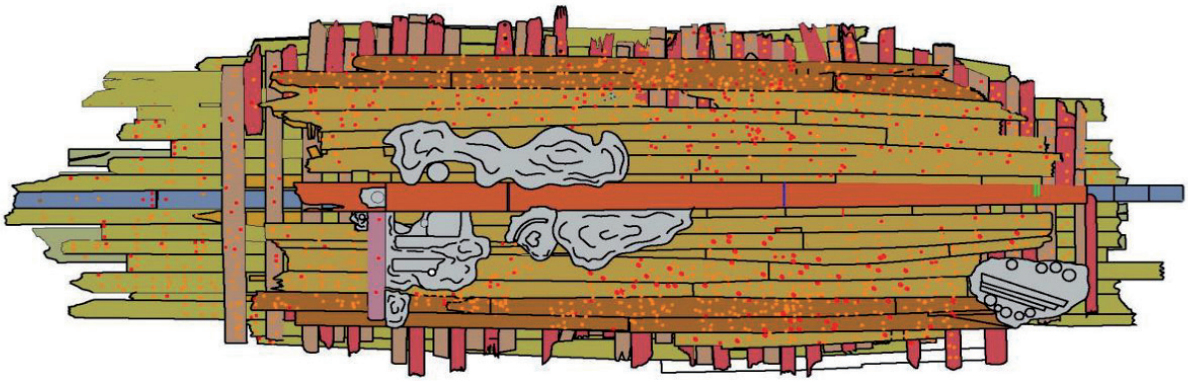


Figura 19. Planimetría de los restos conservados del pecio. Fuente: Tanit Gestión Arqueológica.

Conclusiones

En definitiva, un proyecto de colaboración ejecutado entre la Autoridad Portuaria de la Bahía de Cádiz, la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía, a través de su Delegación Territorial en Cádiz, el Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, por medio de su Centro de Arqueología Subacuática, la empresa adjudicataria de los trabajos de arqueología Tanit Gestión Arqueológica y la empresa DiverShip, adjudicataria de los trabajos submarinos de acondicionamiento y traslado del pecio.

Un proyecto de infraestructura que dio lugar a que se pusiera en marcha y se desarrollara el primer traslado de un pecio histórico en España, todo ello con el fin de compatibilizar una obra de interés social con un proceso de investigación arqueológica que llevó a la localización de tres naufragios.

Bibliografía

Alzaga García, M., García Rivera, C., Gallardo Abárzuza, M. y Higueras-Milena, J. M. (2019). El proyecto Delta, ejemplo de investigación y protección del patrimonio arqueológico subacuático de Andalucía. En M. M. Ros Sala (Ed.), *La recuperación del patrimonio arqueológico sumergido: problemas y propuestas. Phicaria VII Encuentros Internacionales del Mediterráneo* (pp. 17-34). Universidad Popular de Mazarrón-Concejalía de Cultura.

BOJA, 129, 6 de julio de 2009. Decreto 285/2009, de 23 de junio. https://www.juntadeandalucia.es/eboja.html

BOJA, 101, 28 de mayo de 2009. Orden de 20 de abril de 2009. https://juntadeandalucia.es/boja/2009/101/40

Higueras-Milena, J. M., Gallardo, M. y Ruiz, S. (2013). Intervenciones arqueológicas en los dos pecios localizados durante la construcción de la Nueva Terminal de Contenedores del puerto de Cádiz. *Actas del I Congreso de Arqueología Naútica y Subacuática* (pp. 256-266).

Higueras-Milena, J. M. y Gallardo, M. (2016). Proyecto Delta: pecios localizados y excavados durante las obras de construcción de una nueva terminal de contenedores en el puerto de Cádiz. *Actas del V Congreso Internacional de Arqueología Subacuática (IKUWA V)* (pp. 871-883).

León, A. (de) y Solórzano, J. (de) (1680). *Recopilación de las leyes de los Reinos de las Indias.* Tomo II.

METODOLOGÍAS APLICADAS A LA CARACTERIZACIÓN Y CONSERVACIÓN DE PECIOS Y OTROS MATERIALES SUBACUÁTICOS

METHODOLOGIES APPLIED TO THE CHARACTERISATION AND CONSERVATION OF WRECKS AND OTHER UNDERWATER MATERIALS

Analytical techniques and sampling strategies for establishing the state of conservation of underwater archaeological objects

María Teresa Doménech Carbó
Institut Universitari de Restauració del Patrimoni
Universitat Politècnica de València
tdomenec@crbc.upv.es

Abstract: This paper summarizes the special requirements needed for carrying out the sampling and analytical study of an underwater object. General sampling strategies for analyzing artworks and archaeological remains and analytical techniques for characterizing materials and alterations are reviewed and discussed, considering the specific requirements of the seawater environments. The *Mazarrón 2* shipwreck is used for illustrating this type of case study.

Keywords: underwater archaeological Wood, shipwreck, sampling, analytical method.

Resumen: Este trabajo resume los requisitos específicos que son necesarios para llevar a cabo el muestreo y estudio analítico de material arqueológico subacuático. Se han revisado y considerado las estrategias generales de muestreo de obras de arte y restos arqueológicos y las técnicas de análisis para caracterizar materiales y alteraciones, teniendo en cuenta los requerimientos específicos de los ambientes marinos. Para ilustrar este tipo de casos de estudio se ha tomado como ejemplo el pecio *Mazarrón 2*.

Palabras clave: madera arqueológica anegada, pecio, muestreo, método analítico

1. Introduction

The conservation of cultural heritage is a pluridisciplinary task that gathers specialists in different science and humanity disciplines, archaeology, conservation, chemistry, physics, biology, geology, engineering, architecture, anthropology, history, etc. All of them must work together to ensure the intra and intergenerational sustainable preservation of a cultural good. This collaborative methodology is of particular relevance when the project is aimed at assessing the state of conservation of underwater archaeological objects. That kind of study presents the additional difficulty of accessing the object itself, which requires training in diving together the specialized knowledge in the scientific discipline.

On the other hand, the particular conditions to which the object is subjected contribute to an increase in its deterioration, and, sometimes, any task involving examination, analysis, or conserv-

ation treatment becomes hardly performable due to the dire state that can lead the object to its complete collapse.

In this context, this paper summarizes the special requirements needed for carrying out the sampling and analytical study of an underwater object. General sampling strategies for analyzing artworks and archaeological remains and analytical techniques for characterizing materials and alterations are reviewed and discussed, considering the specific requirements of the seawater environments. The *Mazarrón 2* shipwreck is used for illustrating this type of case study.

2. The underwater environment

The underwater environments exhibit distinctive properties that discriminate them from burial and aerial environments. First of all, it must be mentioned the various effects caused by the fact that the wood object stays deeply immersed in water. The hydrostatic pressure exerts compression forces on the wood that tend to compress and reduce the volume of the wooden body. The ocean currents can also induce directional forces that alter the structure or distort the wooden ship's hull, totally or partially. In parallel, the water embedding by capillarity the microscopic internal channels of the wood cellulose applies microscopical but intense forces on the cellulose wall, which collapses (figure 1). In addition to these physical effects, the water-dissolving properties of hydrophilic components of wood that can be increased by the high salinity and weakly alkaline pH of the seawater also contribute to the deterioration of the shipwreck.

On the other hand, two different environments can be considered for underwater objects. When a ship sinks, the inner part of the hull is placed in the seabed, and the upper part is in the open sea. These two environments induce different deterioration velocities and effects in the shipwreck. The inner part undergoes a slow and extensive deterioration characterized by a significant increase in the fragility and porosity of the wooden body. The outer part located in the open sea undergoes a faster and more extensive deterioration, mainly affecting the surface of the wooden body.

At this point is interesting to raise a question: Are underwater environments actually adverse? According to Gregory, Jensen and Strætkvern (2012), a series of characteristics, summarized in table 1, can be mentioned that can be considered as factors that contribute positively and negatively to the deterioration of a wood shipwreck. Whereas the erosion due to microsized sediments, scour and boring organisms and anaerobic bacteria able to degrade cellulose and hemicellulose are factors promoting the deterioration, the low temperatures and oxygen concentrations usual in seawater are contributing to a reduction in the velocity of deterioration reactions, especially, oxidation processes.

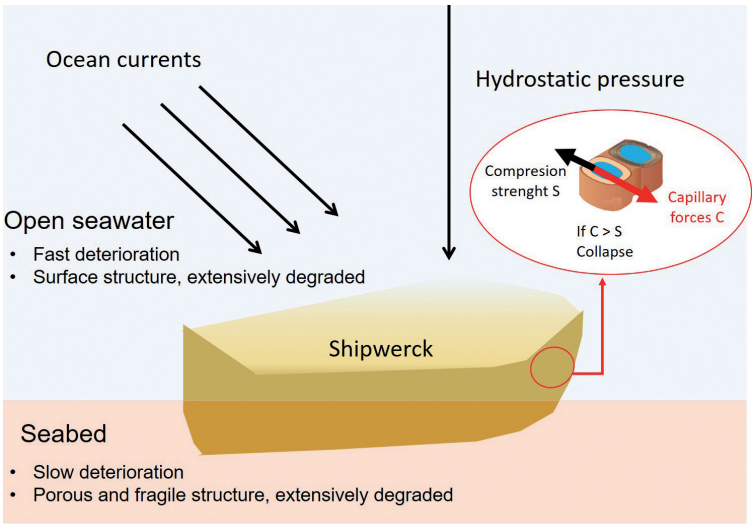


Figure 1. Scheme of the different deterioration factors acting on a shipwreck.

Table 1
Characteristics and properties of the marine underwater environments

Contribute to the deterioration	Contribute to the conservation
Sediment erosion	Low temperatures
Scour and boring organisms	Low oxygen concentrations
Anaerobic bacteria degrade cellulose and hemicelluloses	

3. Sampling

Sampling is an essential part of the study of an archaeological object that can determine the confidence level of the results obtained in subsequent analyses. For performing a correct sampling strategy of art object or archaeological remains is necessary to concrete the following five points: 1) Sampling points; 2) Number of samples; 3) Size of sample; 4) Method of sampling, and 5) Sampling handling and storage.

1. Concerning the selection of sampling points, Reedy and Reedy (1988) have discussed the applicability of six general sampling strategies in analytical chemistry:

- Analysis of the entire object.
- Homogenate the entire object and analyze a portion.
- Take randomly located samples.
- Choose regularly patterned samples.
- Haphazardly or arbitrarily selected points.
- Intentionally select or sample components not yet examined.

The two first strategies are not or scarcely used in the field of cultural heritage as they involve the destruction of the object, and it contravenes the principle of preservation of the object due to its uniqueness and representativeness (table 2). The random and regularly patterned sampling points are the most suitable as they provide high statistical reproducibility and accuracy. Nevertheless, they are scarcely applied in everyday practice because some points can be in parts of the object that significantly alter or hide the message of the archaeological or art object. The two last strategies based on the haphazard or arbitrary selection and the intentionally selected points, respectively, are those commonly used. Nevertheless, they are statistically less suitable because they provide lower confidence in the analytical results.

Table 2
General strategies for selection of sampling points used in analytical chemistry

Selection of sampling points	Confidence	Use
Analysis of the entire object	High	Never
Homogenate the entire object and ana-lyze a portion	High	Never
Take randomly located samples	High	Sometimes
Choose regularly patterned samples	High	Sometimes
Haphazardly or arbitrarily select points	Low	Frequently
Intentionally select or sample compo-nents not yet examined	Low	Frequently

2. The number of samples depends upon the characteristics of the object, the type of information requested, and the repeatability and accuracy required. The higher the number of samples, the greater the repeatability and accuracy but the greater the risk of damage to the object. Therefore, achieving a compromise between analytical requisites and preserving the object's integrity is necessary.

3. The size of the samples is a criterion that depends upon the characteristics of the object and the analytical technique used. It requires a minimum sample´s size that ensures that all the components of the studied material are analyzed, while being over the limit of detection and the heterogeneity's pattern.

Therefore, achieving a compromise between analytical requisites and preserving the object's integrity is necessary.

4. The wooden structure of the shipwreck requires the mechanical extraction of samples using a scalpel, needles, radial saw, etc. Extraction with suitable solvents or micro-abrasive sampling with SiC disks or PIGE electrodes can also be performed.

5. The method for the storage of samples selected must maintain the environmental conditions of the site. In addition, a minimum storage time is desirable. Finally, as far as possible, it is also advisable to reserve an aliquot for future analyses with improved analytical methods.

4. Analytical methodology

Scientists involved in the cultural heritage field frequently ask two types of questions (table 3): those of archaeometrical nature, such as: What materials compose the object? How was the object made? Where did the object come from? And those concerning the current and future conservation state: What alterations undergo the objects? What is the suitable treatment? Why were the object altered?

Furthermore, how is it going to deteriorate the object in the future? Answering these questions requires the application of analytical strategies that, in most cases, imply the use of several instrumental techniques and, depending on their capability, more or less satisfactory results are obtained. Nowadays, powerful instrumentation is available to scientists in the field of Conservation Science, different approaches to the analytical study can be performed depending on the type of object, its environment and the aim of the study. The following figure is a specific analytical proposal aimed to determine the state of conservation of a shipwreck´s wood. The information provided is required to decide the best extraction method for the shipwreck and its further intervention treatment.

Table 3
Objectives of the stud of art and archaeological objects

Archaeometrical aims	Conservation aims
What materials compose the object?	What alterations undergo the objects?
Where the object came from?	What is the suitable treatment?
How was the object made?	Why does the object alter?
	How is it going to deteriorate in the future the object?

As can be seen in Figure 2, the number of samples is determined by the requested information. Physical parameters are of great interest for knowing the actual physical state of the wooden hull. Determine the mechanical resistance (strength and compression) is essential for estab-

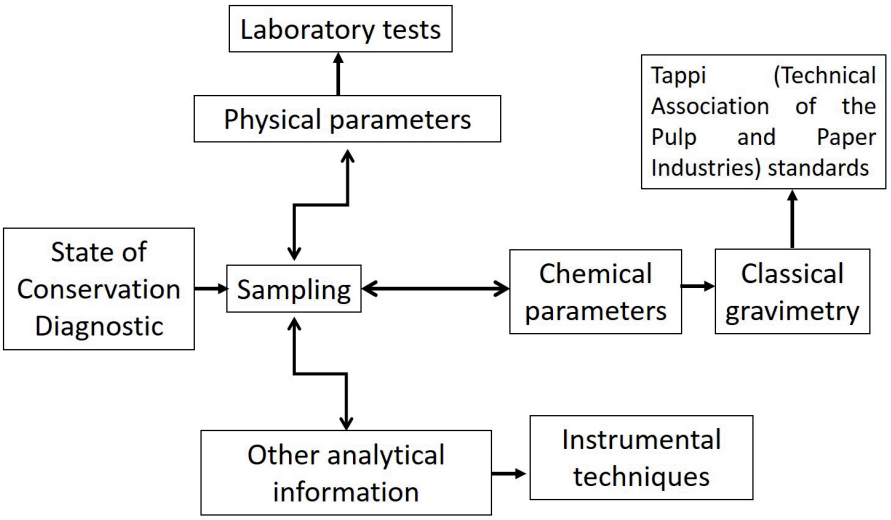


Figure 2. Scheme of the analytical strategy for the analysis of the wood of a shipwreck.

lishing the cohesion of the structure and the viability of the different extraction systems (entire object, by partitioning the hull in two, three, or *n*-parts). The most suitable method for determining that data should be to excise several cm length and width of a wood fragment and subject it to a mechanical test with a tensile tester machine. Nevertheless, the large sample required for this test prevents its application in practice. Alternatively, an excellent approach to the mechanical resistance can be deduced from the determination of physical parameters such as maximum water content, pore volume, basic (bulk) density, and density of cell wall material (Pizzo, Giachi and Fiorentino, 2013; Macchioni, Pizzo, Capretti *et al.*, 2012; Jenssen and Gregory, 2006). The shrinkages (β longitudinal, tangential, and radial) are also measurements that make it possible to know whether the wood is still anisotropic. However, measurements are not always possible due to the occurrence of collapse and the consequent development of deformations and cracks. The characterization of the chemical composition of the wood also informs on the resistance of the wooden structure. It reveals the occurrence of alteration processes that affect the wood's molecular structure: degradation of cellulose and hemicellulose, loss of lignin content, mainly. Due to their importance in the industrial sector of construction, these analyses are standardized by the Technical Association of the Pulp & Paper Industry (TAPPI): Content of organic extractives (OE) (TAPPI T204-cm07); content of aqueous extractives (AE); lignin amount (L) (TAPPI T222-om02); ash content (A) (TAPPI T211-om02); holocellulose content (H). These tests use gravimetric measurements on samples > 250 mg of dry-milled wood. The analysis requires large portions of waterlogged material and can be affected by imprecisions, i.e., some volatile compounds are not evaluated.

In parallel with these primary analyses, several trials can be carried out using instrumental techniques. Various apparatus provides morphological, elemental composition, molecular, and structural class data. Figure 3 summarizes the instrumental techniques most frequently used in the analysis of underwater archaeological wood.

These techniques have been classified according to the physicochemical principle in which is based each technique. Microscopy is the first group of techniques that share the production of morphological images at high magnification of the samples. Thus, microscopical deformations of the cellular walls, the presence of microorganisms, and foreign products such as framboidal pyrites can be identified. Scanning electron microscopy coupled with an energy-dispersive X-ray microanalysis detector provides elemental composition in small areas and grains of the sample. Confocal microscopy and micro computerized tomography provide three-dimensional images of small samples of a few mm.

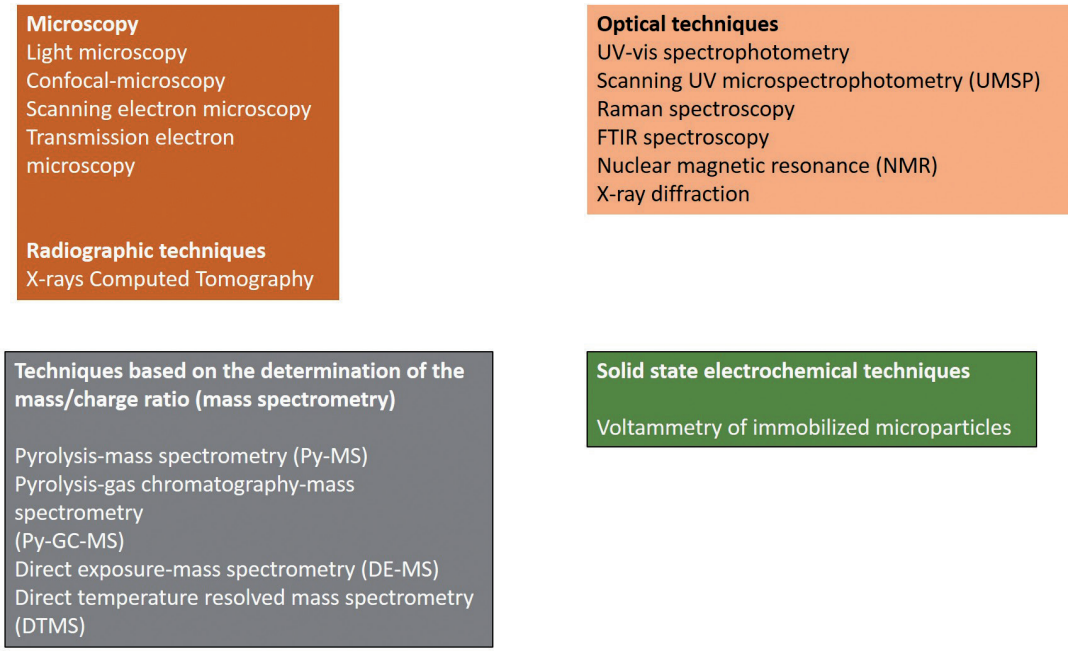


Figure 3. Instrumental techniques most frequently used in the analysis of underwater archaeological wood.

Optical techniques gather a wide range of techniques of diffraction (X-ray diffraction) and spectroscopy (UV-visible, FTIR, Raman, and nuclear magnetic resonance spectroscopies) which provide molecular and structural information of the sample. Examples of that are the identification and quantification of lignin and other phenolic compounds present in woods by the characteristic π-π* transitions of the aromatic moieties using UV-vis spectrophotometry (Li, Fang, Zhao *et al.*, 2014; Čufar, Gričar, Zupančič *et al.*, 2008). Characterization of qualitative and quantitative of wood decay, microbial degradation of the wood and effect of consolidation treatments have been performed using FTIR spectroscopy (Pizzo, Pecoraro and Macchioni, 2013) Raman spectroscopy identifies functional molecule groups by their characteristic absorptions of IR Raman scattered radiations. This technique has been helpful in the characterization of wood and assessing consolidation treatments using cellosolve/petroleum, polyethyleneglycol (PEG)/freeze-drying (Christensen, Frosch, Jensen *et al.*, 2006).

Nuclear magnetic resonance spectroscopy (NMR) is based on the effect of magnetic field on atomic nuclei. There are three techniques: cross-polarization magic angle spinning (CPMAS ^{13}C NMR), 2D homocorrelated NMR, and 1-D ^{1}H. NMR has been applied in characterizing wood decay by loss of cellulose and lignin demethylation. NMR also enables the discrimination of different levels of carbohydrates and lignin degradation; the preservation of intermonomeric bonds in the lignin structure, the so-called β-O-4 linkages; the quantification of differential loss of intermonomeric bonds in the lignin structure: the high content in arylglycerol β-O-4 units and β-5 and β-β' units; the weak content in 5-5β-O-4 unit and the oxidation of C at the benzylic position in β-O-4 units due to the white rot fungi degradation. Consolidation treatments have also been assessed by studying the interactions between the PEG and the archaeological wood components (Bardet, Gerbaud, Tran *et al.*, 2007). Changes in the degree of crystallinity of cellulose due to aging have also been studied using NMR and X-ray diffraction (XRD) (Li, Fang, Zhao *et al.*, 2014).

Analytical pyrolysis embraces a set of instrumental techniques based on the thermal fission in an inert atmosphere (300 and 800°C) of a material, usually of polymeric nature, into molecules (pyrolysis products or fragments) of a lower mass, yet large enough to provide analytical information on the original sample. A mass spectrometer is used as detector (Py-MS) with or without intermediation of a gas chromatography column (Py-GC-MS). This technique has a series of advan-

tages, high sensitivity, small sample size of a few tenths of µg, negligible sample preparation, and short analysis time, from minutes to 40 min. As main disadvantages can be mentioned; the complex programs and mass spectra obtained, which often require the use of multivariate analysis. Among their main applications can be quoted the identification of the botanical species and the type of lignin, the recognition of chemical alterations of wood components induced by fungi, such as brown-rot and white-rot, the identification of decay processes such as differential depletion of polysaccharides, early demethylation of syringyl units and further formation of catechols and methoxy catechols (Łucejko, Modugno, Ribechini *et al*., 2009). Direct exposure-mass spectrometry (DE-MS), direct temperature resolved mass spectrometry (DTMS) are also applied in the analysis of archaeological wood.

Finally, the voltammetry of immobilized microparticles (VIMP) is a solid-state electrochemistry technique that analyzes micro- or sub-micro samples of wood micro extracted with organic solvents. VIMP records the voltammetric response of the extracted compounds and applies bivariate and multivariate chemometric techniques. Among its main applications can be mentioned the identification of taxonomic groups from the characteristic voltammetric profiles that has proved to be successful in a series of samples of wooden objects of different European and American provenances and different historical periods (Doménech, Doménech, Ferragud *et al*., 2017).

5. Acknowledgments

Grant PID2020-113022GB-I00 funded by MCIN/AEI/ 10.13039/501100011033 and, by «ERDF A way of making Europe», by the «European Union».

6. References

Bardet, B., Gerbaud, G., Tran, Q. K. y Hediger, S. (2007). Study of interactions between polyethylene glycol and archaeological wood components by 13C high-resolution solid-state CP-MAS NMR. *Journal of Archaeological Science*, 34(10), 1670-1676. http://doi:10.1016/j.jas.2006.12.005.

Christensen, M., Frosch, M., Jensen, P., Schnell, U., Shashoua, Y. y Nielsen, O. F. (2006). Waterlogged archaeological wood – chemical changes by conservation and degradation. *Journal of Raman Spectroscopy*, 37, 1171-1178. http://doi:10.1002/jrs.1589.

Čufar, K., Gričar, J., Zupančič, M., Koch, G. y Schmitt, U. (2008). Anatomy, cell wall structure and topochemistry of water-logged archaeological wood aged 5,200 and 4,500 years. *IAWA Journal*, 29(1), 55-68.

Doménech-Carbó, A., Doménech-Carbó, M. T., Ferragud-Adam, X., Ortiz-Miranda, A. S., Montoya, N., Pasíes-Oviedo, T., Peiró-Ronda, M. A., Vives-Ferrándiz, J. y Carrión Marco, Y. (2017). Identification of vegetal species in wooden objects using in situ microextraction-assisted voltammetry of microparticles. *Analytical Methods*, 9, 2041-2048. https://doi.org/10.1039/C7AY00323D

Gregory, D., Jenssen, P. y Strætkvern, K. (2012). Conservation and in situ preservation of wooden shipwrecks from marine environments. *Journal of Cultural Heritage*, 13S, S139-S148. http://doi:10.1016/j.culher.2012.03.005.

Jenssen P, y Gregory, D. J. (2006). Selected physical parameters to characterize the state of preservation of waterlogged archaeological wood: a practical guide for their determination. *Journal of Archaeological Science,* 33, 551-559. http://doi:10.1016/j.jas.2005.09.007.

Li, M.-Y., Fang B.-S., Zhao, Y., Tong, T., Hou, X.-H. y Tong, H. (2014). Investigation into the deterioration process of archaeological bamboo strips of China from four different periods by chemical and anatomical analysis. *Polymer Degradation and Stability,* 109, 71-78. http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2014.06.022.

Łucejko, J. J., Modugno, F., Ribechini, E. y del Río J. C. (2009). Characterisation of archaeological waterlogged wood by pyrolytic and mass spectrometric techniques. *Analytica Chimica Acta,* 654, 26-34. https://doi:10.1016/j.aca.2009.07.007.

Macchioni, N., Pizzo, B., Capretti, C. y Giachi, G. (2012). How an integrated diagnostic approach can help in a correct evaluation of the state of preservation of waterlogged archaeological wooden artefacts. *Journal of Archaeological Science*, 39, 3255-3263. https://doi:10.1016/j.jas.2012.05.008.

Pizzo, B., Giachi, G. y Fiorentino, L. (2013). Reasoned use of chemical parameters for the diagnostic evaluation of the state of preservation of waterlogged archaeological wood. *Journal of Archaeological Science*, 40, 1673-1680. http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2012.12.003.

Pizzo, B., Pecoraro, E. y Macchioni, N. (2013). A New Method to Quantitatively Evaluate the Chemical Composition of Waterlogged Wood by Means of Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared (ATR FT-IR) Measurements Carried Out on Wet Material. *Applied Spectroscopy*, 67(5), 553-562. http://10.1366/12-06819.

Reedy, T. J. y Reedy, Ch. L. (1988). *Statistical Analysis in Art Conservation Research*. The Getty Conservation Institute.

TRATAMIENTOS DE CONSERVACIÓN DE PECIOS Y OTROS MATERIALES SUBACUÁTICOS

CONSERVATION TREATMENTS ON WRECKS AND OTHER UNDERWATER MATERIALS

A comparative study of conservation methods for waterlogged wood - a review of the ‘Cutaway’ project

Ingrid Stelzner
Leibniz-Zentrum für Archäologie, Mainz
ingrid.stelzner@leiza.de

Jörg Stelzner
Leibniz-Zentrum für Archäologie, Mainz
joerg.stelzner@leiza.de

Jorge Martinez-Garcia
Lucerne University of Applied Sciences and Arts, School for Engineering and Architecture, Competence Center Thermal Energy Storage
jorge.martinezgarcia@hslu.ch

Damian Gwerder
Lucerne University of Applied Sciences and Arts, School for Engineering and Architecture, Competence Center Thermal Energy Storage
damian.gwerder01@hslu.ch

Markus Wittköpper
Leibniz-Zentrum für Archäologie, Mainz
markus.wittkoepper@leiza.de

Waldemar Muskalla
Leibniz-Zentrum für Archäologie, Mainz
mail@waldemuskalla.de

Anja Cramer
Leibniz-Zentrum für Archäologie, Mainz
anja.cramer@leiza.de

Guido Heinz
Leibniz-Zentrum für Archäologie, Mainz
guido.heinz@leiza.de

Elias Hamann
Karsruher Institut für Technologie, Karsruhe
elias.hamann@kit.edu

Marcus Zuber
Karsruher Institut für Technologie, Karsruhe
markus.zuber@kit.edu

Markus Egg
Leibniz-Zentrum für Archäologie, Mainz
markus.egg@leiza.de

Philipp Schuetz
Lucerne University of Applied Sciences and Arts, School for Engineering and Architecture, Competence Center Thermal Energy Storage
philipp.schuetz@hslu.ch

Abstract: Wood degrades during the storage in the ground. Depending on its state of preservation and species, archaeological wood will deform, collapse and shrink after excavation. This paper reviews conservation methods used to preserve waterlogged archaeological wood. In the short history of conservation science, various methods have been established. At the Leibniz-Zenturm für Archäologie, a reference collection has been built up considering conservation methods such as alcohol-ether resin, melamine formaldehyde (Kauramin 800®), lactitol/trehalose, polyethylene glycol impregnation with different molecular size followed by freeze-drying, saccharose and silicone oil. The project "Cutaway – Conservation and wood analyses" aimed to compare the treaments and therefore, samples of the reference collection were analysed using structured-light 3D sanning, X-ray and synchrotron micro-computed tomography, light microscopy and scanning electron microscopy. The paper discusses the ability of these methods to prevent shrinkage, collapse and cracking. In addition, the interaction of the consolidant within the microstructure of the wood and the condition of the cell walls is assessed.

Keywords: Waterlogged wood, conservation methods, comparative analyses, microscopy, X-ray micro-computed tomography.

Resumen: La madera se degrada. Dependiendo de su estado de conservación y de la especie a la que pertenezca, la madera arqueológica se deforma, colapsa y encoge tras la excavación. En este artículo se examinan los métodos de conservación utilizados para preservar la madera arqueológica anegada. En la breve historia de la ciencia de la conservación se han establecido diversos métodos: en el Leibniz-Zenturm für Archäologie se ha creado una colección de referencia en la que se han implementado diversos métodos de conservación como la resina de alcohol-éter, el formaldehído melamínico (Kauramin 800®), el lactitol/trehalosa, la impregnación con polietilenglicol de diferente tamaño molecular seguida de liofilización, la sacarosa y el aceite de silicona. El proyecto «Cutaway - Conservación y análisis de la madera» tenía como objetivo comparar estos tratamientos y, para ello, se analizaron muestras de dicha colección mediante cribado 3D con luz estructurada, tomografía microcomputada de rayos X y sincrotrón, microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido. El artículo analiza la capacidad de estos métodos para prevenir la contracción, el colapso y el agrietamiento de la madera anegada. Además, se evalúa la interacción del consolidante en la microestructura de la madera y el estado de las paredes celulares.

Palabras clave: madera anegada, métodos de conservación, análisis comparativos, microscopía, tomografía microcomputada de rayos X.

1. Introduction

Wooden objects are rarely found in archaeological contexts. In temperate climates, the material is mainly preserved in water-saturated, low-oxygen conditions. Degradation takes place from the outside in (Christensen, 1951), with the initial decomposition of easily degradable components such as hemicellulose and cellulose. What remains is mainly a skeleton of lignin, which is difficult to degrade and, if at all, only serves as a nutrient for very specialised microorganisms under these conditions (Björdal, 2012; Pedersen, Łucejko, Modugno *et al.*, 2021). The water surrounding the wooden objects fills the voids and stabilises the structure. Degradation under anaerobic conditions is very slow, so wooden objects can be preserved for thousands of years (Singh, Kim and Chavan, 2022). In contrast, an archaeological wooden artefact will decay within hours of excavation if no precautions are taken.

Depending on the type of wood and the degree of degradation, the three dimensional (3D) structure will change beyond recognition if left to dry uncontrollably (Barbour and Leney, 1981;

Grattan, 1987; Hawley, 1931). This is caused by the collapse of cell cavities or lumina and shrinkage of cell walls. The former is caused by capillary tension and drying stress in the first phase of drying above fibre saturation, while the latter occurs when bound water evaporates below fibre saturation.

Once excavated, wet wood artefacts require stabilising conservation measures to bring them into a stable, dry state and preserve them permanently. These conservation measures correspond to all safeguards and measures aimed at preserving the cultural heritage while respecting its significance, including accessibility for present and future generations (EN 15898:2011).

Since the mid-19th century, appropriate conservation methods have been sought to preserve decaying wooden artefacts (Christensen, 1970). Over time, treatments based on a wide variety of materials and methods have become established. Several comprehensive studies have compared the treatments (Bräker and Bill, 1979; Wittköpper, Muskalla, Brather *et al.*, 2016; www.rgzm.de/kur, 2022) but did not consider the internal structure of the entire sample.

A multitechnique and multiscale comparative study was therefore carried out to clarify which conservation methods for waterlogged archaeological wood can prevent the damage described for untreated air-dried wood, such as cell collapse, shrinkage and cracking, and how the methods stabilise the wood cells. This has been done as part of the research project `Cutaway – Conservation and wood analyses` (2019-2023) where the methods alcohol-ether resin, melamine formaldehyde (Kauramin 800®), lactitol/trehalose, impregnation with aqueous solutions of polyethylene glycol with different molecular weight prior to freeze-drying, saccharose and silicone oil were compared.

The aim of this paper is to present the results in the context of current knowledge. Therefore, a brief overview of the samples and methods that were used in the project is given and references are provided for more detailed information. The main focus is on the discussion of the conservation methods, where, in addition to their background and properties, the main results from the project on the ability to stabilise the wood are discussed with already existing results from literature. Special attention is given to the interaction of the consolidant and the drying method within the wood structure.

2. Materials and methods

2.1. The reference collection at the Leibniz-Zentrum für Archäologie (LEIZA)

During the project «Mass Finds in Archaeological Collections», funded by the German «Kulturstiftung des Bundes und der Länder» (2008-2011) and coordinated by the Leibniz-Zentrum für Archäologie (formerly Römisch-Germanisches Zentralmuseum) and the Archäologische Staatssammlung München, a reference collection was established (Wittköpper, Muskalla, Brather *et al.*, 2016; www.rgzm.de/kur, 2022). This collection consists of 31 test series on seven different wood species. After documentation and analysis of the state of preservation, the approximately 800 specimens were conserved by various cooperation partners including the methods alcohol-ether resin, melamine formaldehyde (Kauramin 800®), lactitol/trehalose, polyethylene glycol with different molecular weight followed by freeze-drying, silicone oil and saccharose (Table 1, («www.rgzm.de/kur,» 2022)). For the purposes of the Cutaway project, 83 samples were selected for further analysis. Therefore, the 10 series were selected which cover most of the preservation methods. From each series, only one out of five samples was selected for each conservation method. The criterion was the sample with the mean shrinkage before and after conservation, measured by 3D structured light scanning. For the microscopic examinations, the coniferous Pi1/V03 series was selected characterized by a simple and regular structure and reflecting the majority of conservation methods. Core samples of 5 mm diameter were taken with an increment borer from both the degraded outer area and the less degraded core.

Table 1
Brief protocol on the conservation methods investigated

Conservation methods	Institutions and Short Descriptions of the Methods	
Air dried reference (Air)	Institution:	Leibniz-Zentrum für Archäologie, Mainz, Germany
	Treatment:	none, air-drying
	Impregnation solution:	none
Alcohol-ether-resin (AlEt)	Institution:	Schweizerisches Nationalmuseum, Zürich, Switzerland.
	Treatment:	Exchange of water with ethanol. Exchange of ethanol with diethyl ether. Soaking of wood with diethyl ether in resin-diethyl solution. Drying by evaporation of the diethyl ether in the vacuum vessel. Application of surface protection 3% Paraloid B72 solution in acetone.
	Impregnation solution:	70.7% diethyl ether, 16.1% dammar resin, 6.4% rosin, 3.2% dienol D102, 3.2% rhizinus oil, 0.4% PEG 400
Melamine formaldehyde Kauramin 800® (K800)	Institution:	Leibniz-Zentrum für Archäologie, Mainz, Germany
	Treatment:	Soaking in demineralized water. Bath impregnation at room temperature. Replacement of the solution when early polycondensation occurs. Curing of the impregnated wood in the heating cabinet at 60 °C. Afterwards slow, controlled air-drying. Dip in linseed oil varnish.
	Impregnation solution:	25% Kauramin 800® solution (72 L resin + 210 L deionised water, 3.6 L urea, 7.2 L triethylene glycol)
Lactitol-trehalose (LaTr)	Institution:	Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege, Zossen, Germany
	Treatment:	Starting with 30% concentration. Increasing monthly in 10% steps up to 70%. Bath temperature 55 °C. After removal from the bath, the surfaces were dusted with crystalline lactitol monohydrate and dried in a heating oven over a period of one week. After drying, the surface was cleaned by dabbing with damp cloths.
	Impregnation solution:	lactitol-trehalose solution (9:1) 30%–70%. Addition of biocide if necessary (0,1% Bioban 404)
Polyethylene glycol (PEG 2000) one-step and freeze-drying (PEG1)	Institution:	Nationalmuseet, Copenhagen, Denmark
	Treatment:	Starting with 10% PEG 2000 solution. Increasing the concentration up to 40% at room temperature. Freeze-drying in cooled chamber (approx. –30 °C). Removal of excess PEG from the surface with a soft brush and ethanol. Subsequent surface stabilisation with 25% PEG 2000 solution in ethanol.
	Impregnation solution:	PEG 2000, 10–40% solution with tap water
Polyethylene glycol (PEG 400 and 4000) two-step and freeze-drying (PEG2)	Institution:	Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege, Zossen, Germany
	Treatment:	Soaking in demineralised water. Starting with 5% PEG 400 solution. Raising the concentration in 5% steps every 4 weeks. At its calculated final concentration, it was kept constant. Then the increase of PEG 4000 solution was continued in 5% steps up to its final concentration where it was kept for 10 weeks. Precooling of the wood to 5 °C then deep-freezing to –25 to –35 °C, freeze-drying in cooled chamber (approx. –30 °C).
	Impregnation solution:	PEG-solution in demineralised water (PEG 400 and PEG 4000) was adapted according to the condition of the wood (PEGcon): 35% PEG solution (of which 10% PEG 400 and 25% PEG 4000) in demineralized water, impregnation at room temperature
Polyethylene glycol (PEG 400, 1500 and 4000) three-step and freeze-drying (PEG3)	Institution:	Archäologische Staatssammlung, Munich, Germany
	Treatment:	Soaking in demineralised water. Starting with 11% increasing to 15% PEG 400 solution at room temperature. 16% increasing to 20.5% PEG 1500 solution at 40 °C. 20.5% increasing to 27.5% PEG 4000 solution at 40 °C. Washing of the wood and wrapping in cellulose tissues. Intermediate storage in freezer (–25 to –35 °C) until freeze-drying. Subsequent freeze-drying in a cooled chamber (approx. –30 °C). Excess of PEG was removed with a brush and ethanol.
	Impregnation solution:	PEG-solution in demineralised water: 15% PEG 400, 20.5% PEG 1500, 27.5% PEG 4000
Saccharose (Sac)	Institution:	Sächsisches Landesamt für Archäologie, Dresden, Germany
	Treatment:	Concentrated the solution in 10% steps, from 10% up to 60% sugar solution at room temperature. Slow, controlled air-drying in microperforated bags. Removal of crystallised sugar residues from the surface with damp sponge.
	Impregnation solution:	Aqueous saccharose solution 10% – 60%. If necessary biocide addition composed of 0.6%, sodium benzoate (E211), 0.5% Parmetol K40, 0.5% Quartasept Plus and 0.02% Tallofin OT
Silicone oil (Sil)	Institution:	Texas University, Texas, USA
	Treatment:	Exchange of water with ethanol. Exchange of ethanol with acetone. Placing the still dripping wet acetone-impregnated samples in impregnation solution under normal atmospheric conditions. Triggering the polymerisation of the impregnation solution by gaseous catalyst: DBTDA (dibutyl diacetate).
	Impregnation solution:	80% silicone oil (SFD1 (66%) + SFD5 (34%) —silanol functional polydimethylsiloxanes «PDMS») and 20% crosslinker MTMS (methyltrimethoxysilane)

2.2. Methods

The volume of the samples was documented both with structured-light scanning and X-ray micro-computed tomography (µCT) (Stelzner, Stelzner, Martinez-Garcia *et al.*, 2022). Starting in 2008, the wet samples were scanned with a structured-light 3D scanner (GOM, Metrology, a company of the ZEISS Group) prior to conservation and in the dry state after conservation (Figure 1). To analyse volume changes after approximately ten years, the conserved samples were scanned again in 2020. In addition, the samples were analysed at Lucerne University of Applied Sciences and Arts using µCT (diondo d2 Germany, Figure 1). To obtain information on the surface and volume of the samples measured by µCT, the data were analysed using VGStudio Max 3.4 (Volume Graphics, Heidelberg).

The evaluation of the conservation methods was done by determining the dimensional stability based on the volume data derived from the measurements (Stelzner, Stelzner, Martinez-Garcia *et al.*, 2023; Stelzner, Stelzner, Martinez-Garcia *et al.*, 2022). From this the shrinkage (S) of the volume derived from the structured-light 3D scanning of the samples before (V_{wet}) and after (V_{dry}) conservation was calculated (Rowell and Youngs, 1981; Stamm, 1974). To quantify the loss of internal volume due to collapse and cracks, shrinkage was calculated from the volume of the 3D structured light scanning after conservation (V_{dry}) and the volume of the µCT data (V_{CT}), respectively.

The core samples were split into several parts (Stelzner, Stelzner, Gwerder *et al.*, 2023). The small core samples were analysed with synchrotron µCT at Karlsruher Insitut für Technologie (KIT) to achieve a high resolution (Stelzner, Stelzner, Hamann *et al.*, 2023). Therefore, no further preparation was necessary (Stelzner and Million, 2015). Another set of samples was ground and polished for examination in the Axioscop A1 light microscope (Carl Zeiss GmbH, Jena). For analysis in the scanning electron microscope (SEM, Evo 60, Carl Zeiss GmbH, Jena) the samples were coated with gold (Stelzner, Stelzner, Gwerder *et al*., 2023).

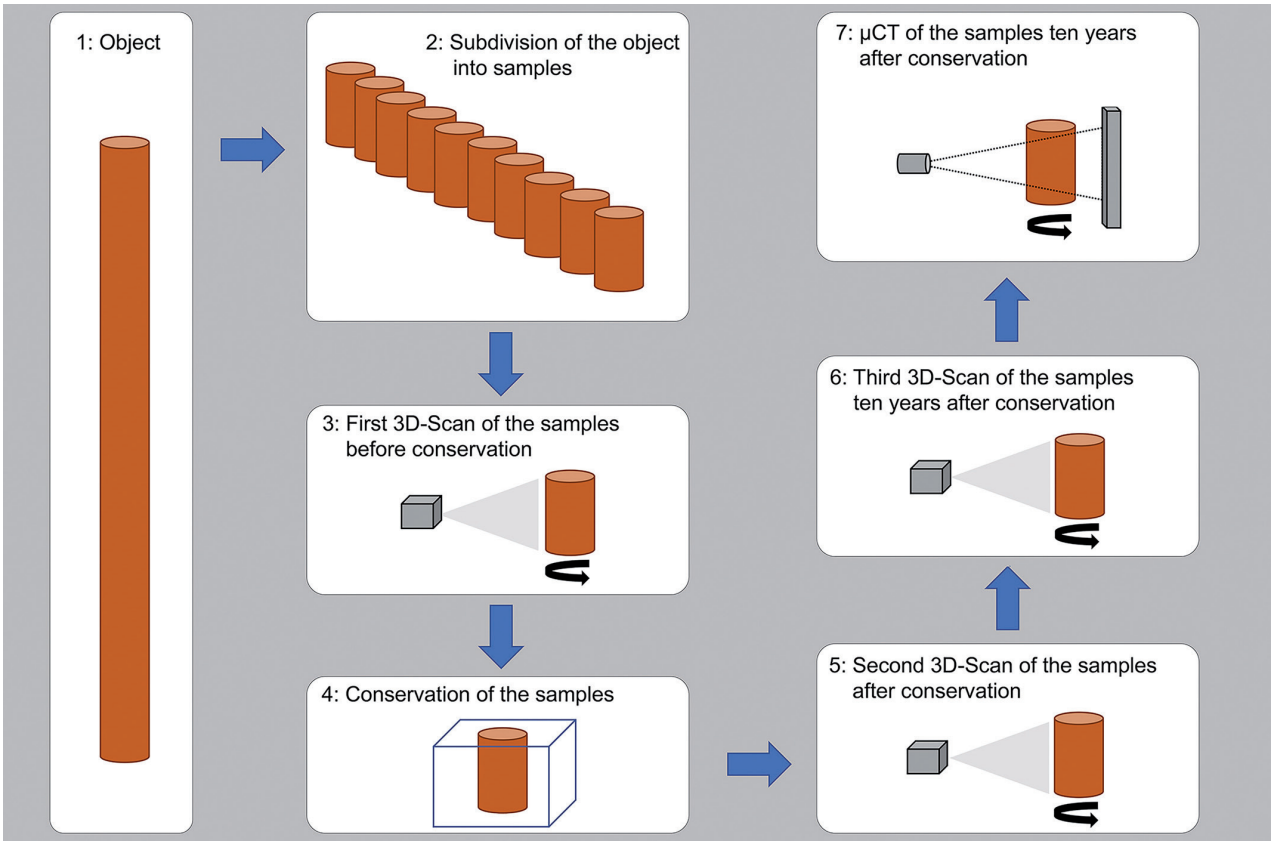


Figure 1. Overview over samples and measuring design.

3. Results and discussion

3.1. Alcohol-ether resin

Background

In addition to experiments on solvent drying, B. Christensen at the Danish National Museum in Copenhagen published the alcohol-ether method (Christensen, 1951), in which the water in the wood structure is gradually replaced by the solvent ethanol, which is then replaced by ether. In the final stage, the find is soaked in dammar resin dissolved in ether and then dried in under vacuum. The high safety risk associated with handling large quantities of highly volatile solvents such as diethyl ether makes the method expensive and difficult to use. Christensen describes the development of strain during drying, which often results in warping, transverse cracks and fissures (Christensen, 1970). In addition, the objects are brittle, fragile and poorly porous, and consolidation or coating is essential. He also emphasises the aesthetic appearance of the objects.

Around 1953, a modified method was introduced at the Swiss National Museum in Zürich (Christensen, 1970), in which rosin, stand oil, oil varnish and castor oil were used in addition to dammar resin (Christensen, 1971; Kramer, 1979; Kramer and Mühlethaler, 1968). Due to the good results, it is still used today, even for fragile objects that have been extracted in their sediment at the Swiss National Museum in Zurich (Schmidt-Ott, André and Bader, 2022). Examination of the forty-year-old objects revealed that most were stable, but some were brittle and some had cracked. However, the brittleness and cracking could not be related to light ageing or changes in relative humidity. Modifications to the resin mixture are currently being tested to optimise the long-term stability of the method (Schmidt-Ott, André, Liengme *et al.*, 2023).

Volume stability

The samples from the collection at the LEIZA conserved with the alcohol-ether resin show very good volume stabilisation (cf. Figure 2, 3b). This is achieved by the solvent drying process. The low shrinkage corresponds to the low capillary forces resulting from the evaporating liquid (Christensen, 1970). Considering the internal structures derived from the µCT data, the method also shows good stability (cf. Figure 2). Analysis of the µCT data showed that there was little collapse or cracking inside the specimens.

This positive assessment is also confirmed by previous studies (Bräker, Schoch and Schweingruber, 1979; Schmidt-Ott, André, Liengme *et al.*, 2023), especially for deciduous woods (Mühlethaler, 1973). The scans after 10 years show consistently good values for volume stability.

Interaction within the wood structure

Due to the rather low concentration of the consolidant (cf. Table 1), the sample is light and porous and not strongly affected by the consolidant (cf. Figure 3b, 4, 5b, 6b). These observations are also reported by Christensen (Christensen, 1970).

Under the light microscope the differences between the degradation levels are observed (cf. Figure 4b): The cell walls of the tracheids in the latewood of the inner, well preserved areas seem to be well stabilised. In contrast, the wood structure in the outer, highly degraded area is barely visible. In the latewood, the degraded S2 layers of the fibrous tracheids are partially visible. In SEM analyses, it is observed that the highly degraded secondary cell walls are still in shape, although shrunken and detached from the compound middle lamella (cf. Figure 6b). Small gaps are also visible in the synchrotron data between the compound middle lamella and the secondary cell wall, indicating shrinkage of the secondary cell wall (cf. Figure 5b). These observations confirm previous results (Bräker, Schoch and Schweingruber, 1979, Kramer and Mühlethaler, 1968).

Deposits were seen on the cell walls of the early wood and in some isolated lumen in the latewood (cf. Figure 4b and 5b). These deposits could be considered as consolidants, but a clear identification was not possible. However, it does not appear that the gaps between the composite middle lamella and the secondary cell walls were filled with the consolidant (cf. Figure 6b).

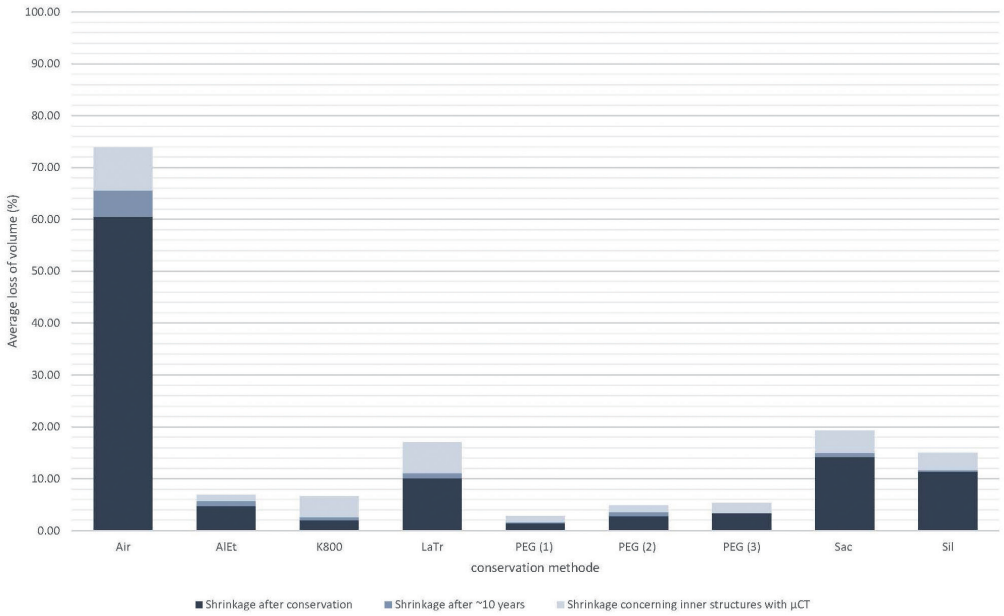


Figure 2. Average volume loss of 83 samples by conservation method (reference air, alcohol-ether resin (AlEt), melamine resin Kauramin 800® (K800), lactitol/trehalose (LaTr), PEG 2000 (PEG1), PEG 400, 4000 (PEG2), PEG 400, 1500, 4000 (PEG3), saccharose (Sac), silicone oil (Sil)). Volume loss was calculated using volume data from measurements of the samples before and after conservation and ten years after conservation using structured-light 3D scanning and µCT.

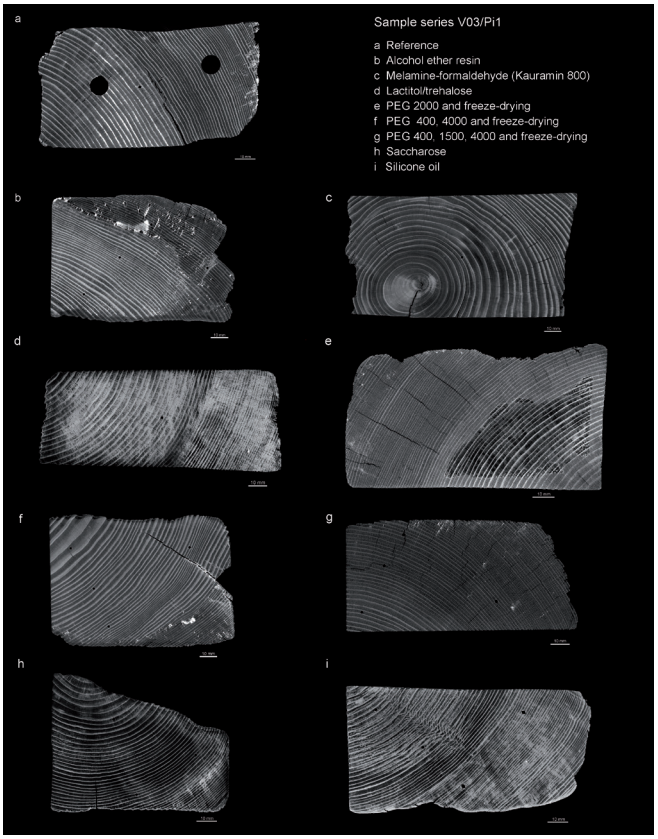


Figure 3. Cross-section from µCT data from sample series Pi1/V03. (a) reference, (b) alcohol-ether resin, (c) melamine resin Kauramin 800®, (d) lactitol/trehalose, (e) PEG 2000, freeze-drying (f) PEG 400, 4000, freeze-drying (g) PEG 400, 1500, 4000, freeze-drying (h) saccharose, (i) silicone oil.

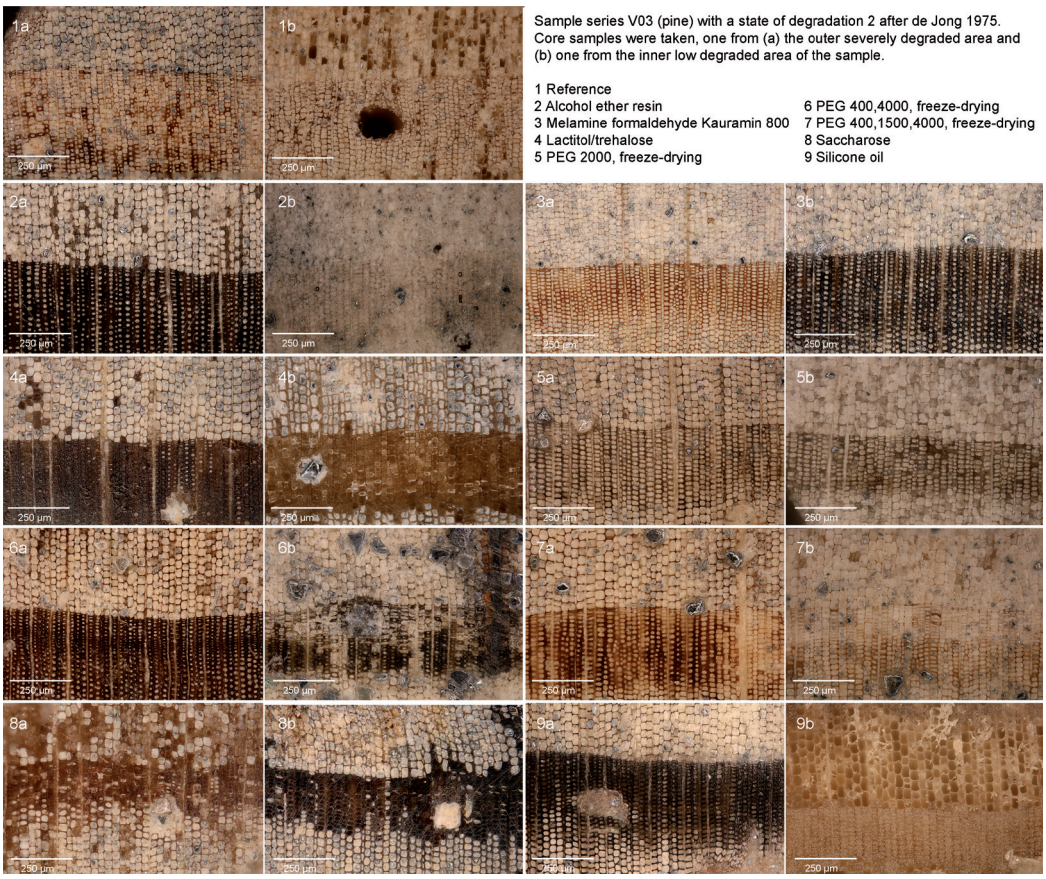


Figure 4. Light microscopy of the sample series Pi/V03 from the low and high degraded area, late and early wood.

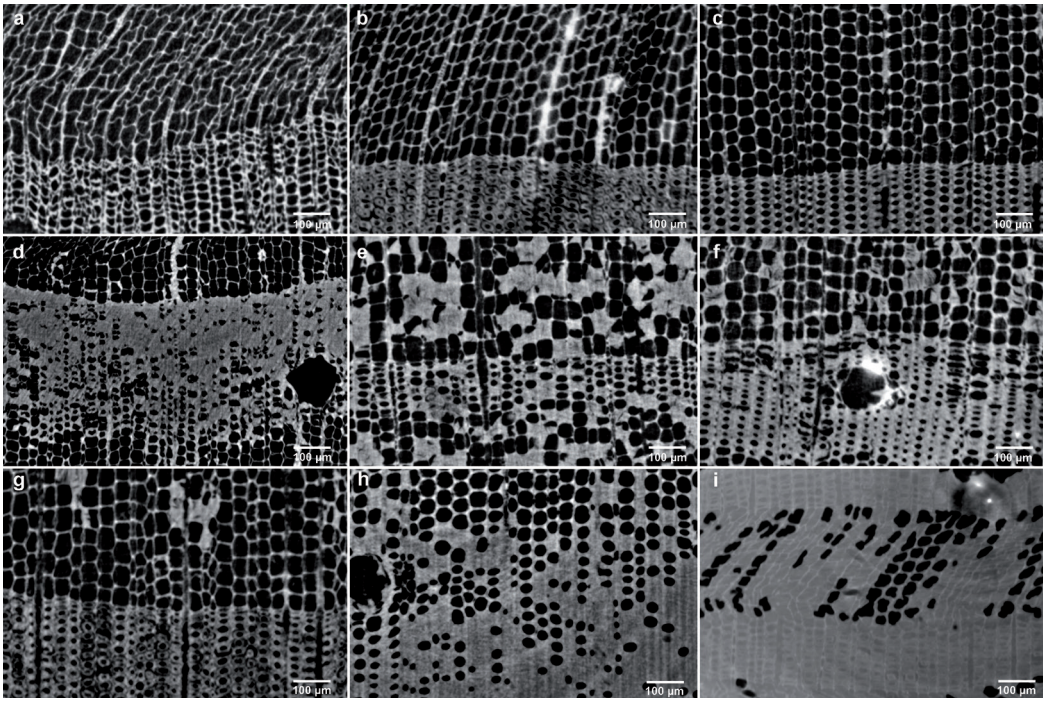


Figure 5. Synchrotron µCT of the sample series Pi/V03 from the high degraded area of the sample, late and early wood (a) reference, (b) alcohol-ether resin, (c) melamine resin Kauramin 800®, (d) lactitol/trehalose, (e) PEG 2000, freeze-drying (f) PEG 400, 4000, freeze-drying (g) PEG 400, 1500, 4000, freeze-drying (h) saccharose, (i) silicone oil.

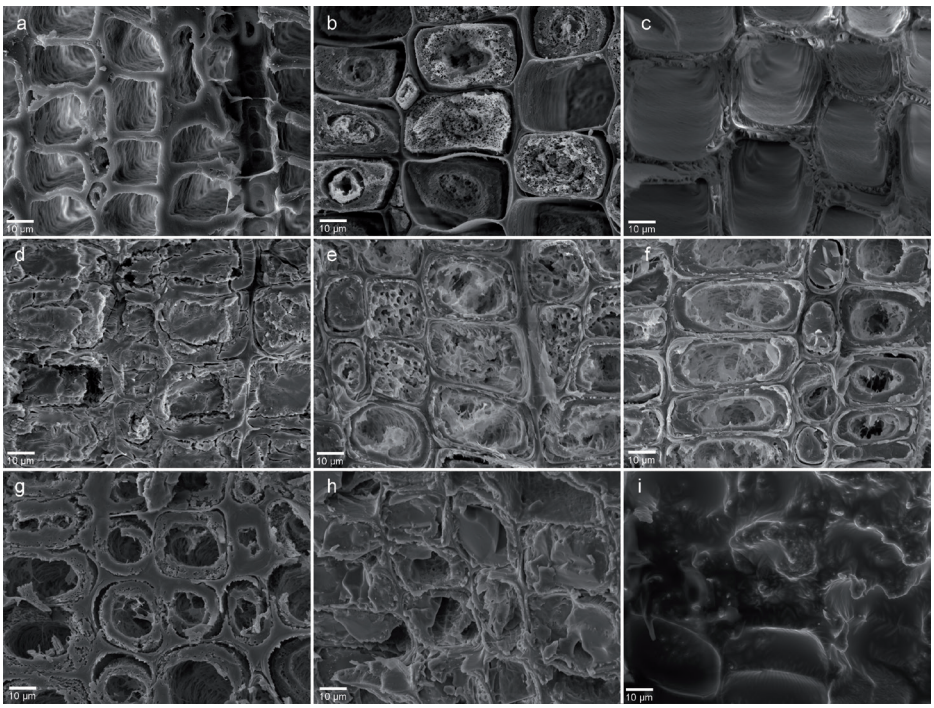


Figure 6. Scanning electron microscopy of the sample series Pi/V03 from the high degraded part, late wood (a) reference, (b) alcohol-ether resin, (c) melamine resin Kauramin 800®, (d) lactitol/trehalose, (e) PEG 2000, freeze-drying (f) PEG 400, 4000, freeze-drying (g) PEG 400, 1500, 4000, freeze-drying, (h) saccharose, (i) silicone oil.

3.2. Melamin resin Kauramin 800®

Background

As early as the 1930s, attempts were made to preserve wet wood with urea-formaldehyde condensation resins, but these were not pursued further (Bill and Mühlethaler, 1979). In 1959/60, Müller-Beck and Haas (Müller-Beck and Haas, 1960 and 1959) published on the conservation of wet wood using Arigal C, a melamine resin manufactured by Ciba. In this process, the artefacts were soaked in the dissolved precondensate Arigal C, to which a catalyst was added, and irreversibly cross-linked by polycondensation in a heating oven. When Arigal C was no longer available, Ciba-Geigy offered Lyofix 4036 (Lyofix DML) as an alternative. After conservation, a coating of a polyvinyl acetate solution was applied (Ebert, 1977). Haas describes the production of melamine formaldehyde precondensates and experiments with Lyofix DML (Pfersee Augsburg) due to production bottlenecks (Haas, 1985). However, the finds preserved with Arigal or Lyofix showed many transverse cracks. In addition, due to the rapid hardening of the resin, precipitates of the resin were visible on the surface which were difficult to remove (Haas, Müller-Beck, Schweingruber., 1961).

At the Römisch-Germanisches Zentralmuseum in Mainz (RGZM), which has had experience in the conservation of wet wood with melamine/amino resins since 1963, the method was modified in the early 1990s on the initiative of A. Kramer and scientists from BASF, and in 1998 Wittköpper published the result as «Kauramin Tränkharz® CE 5549 liquid» (Wittköpper, 1998). The innovation was to extend the life of the impregnating bath to «prevent spontaneous resin precipitation on the surface». In addition, the amino resin was made more flexible by modification with ethylene glycol, which should prevent the tendency to form transverse cracks. Because of its good dimensional stability, the resin is still used at the Leibniz-Zentrum für Archäologie today under the name Kauramin 800®. Due to the light colour of the wood after preservation, varnishes such as waxes, synthetic resins or oils are used to improve the aesthetic appearance of the wood (Wittköpper, 1998).

Initially, low molecular weight prepolymers (oligomers) are used. These are dissolved in water and allowed to diffuse into the wood. The pH of the treatment is generally adjusted to pH 8.5 using triethanolamine (TEA). However, care must be taken with treatment baths as acidic pH can often catalyse polymerisation before penetration into the wood is complete. Therefore, it is necessary to monitor the pH and turbidity of the solution during treatment to prevent early onset of polymerisation (Kiliç and Kiliç, 2019; Walsh-Korb and Avérous, 2019). Melamine formaldehyde is a thermosetting aminoplast prepared by condensation reactions. After treatment, a rigid 3D polymer network is formed within the wood. One of the main disadvantages of working with melamine formaldehyde resin is the health impact of formaldehyde evaporation into the air (Walsh-Korb and Avérous, 2019).

Currently, this method has also been used, for example, to conserve the shipwrecks found during the construction of the Marmary project in the Yenikapi district of Istanbul (Kocabaş, Özsait-Kocabaş and Kılıç, 2012) or a 2nd century BC log boat (Kavkler, 2023). Due to the low water absorbtion of wood conserved with melamine formaldehyde (Kauramin 800®) and coated with linseed oil varnish, the presentation of the oldest log boat in Switzerland in an open-air display was realised due to the low water absorption (Moll-Dau, Klügl and Wittköpper, 2022).

Volume stability

In this study, very good results were obtained with melamine formaldehyde (Kauramin 800®, cf. Figure 2). In the long term, the volume stability of Kauramin 800® is guaranteed. According to the µCT data, the positive results could be confirmed by a small volume loss in the structure. However, some samples conserved with Kauramin 800® show cell collapse and cracking (cf. Figure 3c). This could be related to samples which have two different sates of degradation (Stelzner, Stelzner, Martinez-Garcia *et al.*, 2022). This damage may be due to the stiffness of the resin, which has been criticised in the literature in relation to previous methods using melamine resins (Hug, 1979). It has also been described that Kauramin 800® stabilises highly degraded wood very well, whereas well preserved wood is less stabilised. It was hypothesed that this may be due to poorer penetration of the amino resin prepolymer (Hoffmann, 2009), resulting in collapse and shrinkage of the well-preserved wood.

Interaction within the wood structure

Images of the microstructure of the sample (Pi1-K800/V03-45) conserved with the melamine formaldehyde Kauramin 800® are shown in Figure 4c, 5c, 6c. As a relatively low concentration of 25% resin is used, the lumen is largely empty, resulting in a relatively light weight. This observation confirms earlier analyses where the melamine resin Arigal C was found to precipitate in the secondary cell wall (Haas, Müller-Beck and Schweingruber, 1961).The microscopic analyses show that the melamine formaldehyde Kauramin 800® seems to stabilise both the sound and degraded tracheids (cf. Figure 4c). However, the cell walls of the well-preserved areas appear to be lighter and thinner and therefore less stabilised. In addition, the sample taken from the well-preserved area shows little deformation.

The conservation method performed well in consolidating highly degraded tracheids (cf. Figure 4c, 5c, 6c). The consolidant may have accumulated there to a considerable extent, coating and strengthening the residual cell wall (cf. Figure 6c).

The observations are is consistent with the analyses of Spinella *et al.,* who investigated the interaction of melamine formaldehyde in the wood structure using solid-state NMR (Spinella, Chillura Martino, Saladino *et al.*, 2021). They found a much higher proportion in the more degraded surface layers and a lower concentration in the deeper, less degraded layers. They suggested an interaction between the aromatic rings of lignin and the 1,3,5-triazine ring of Kauramin 800®, and the presence of a network of hydrogen bonds involving the consolidant and both components of wood cellulose and lignin. Further studies showed that the melamine formaldehyde resin fills the interstices between

the wood polymers and interacts with them (Altgen, Awais, Altgen *et al.*, 2020). By interacting with the cell wall, the absorption of liquid water and water vapour into the cell wall is reduced. This also limits dimensional changes in the wood.

3.3. Lactitol-Trehalose

Background

Imazu and Morgós published the use of Lactitol MC for the conservation of waterlogged wood (Imazu and Morgos, 1997). An ASE of 99% was obtained for coniferous woods where concentrations of 70% Lactitol MC were used. For hardwood, slightly higher concentrations of about 89% were used. Thus, the dimensional stability of Lactitol MC was higher than that of saccharose. The economy and dimensional stability (ASE 95-98%) of an approximately 700-year-old Japanese umbrella fir coffin (Umax = 400 to 200%) treated with Lactitol MC was also demonstrated (Imazu and Morgos, 1999). Due to its galactose content, Lactitol MC is more resistant to many microorganisms than saccharose and is not hygroscopic (Imazu and Morgos, 1997). However, the addition of a biocide is still required (Brather, Hoffman and Straetkvern., 2018).

When an aqueous solution of Lactitol MC is dried, three different types of crystals are formed: Lactitol monohydrate, dihydrate and trihydrate. The formation of Lactitol MC trihydrate, which precipitates on the surface as a white foam, is accompanied by an increase in volume, which can cause cracks to form in the object. The damage to highly degraded wood is highlighted by Imazu *et al.* (Imazu, Ito, Fujita *et al.*, 2016). Therefore, the final concentration of the bath solution should reach 85% and the objects should be dried above 50°C to form lactitol MC monohydrate (Imazu and Morgos, 1997; Imazu and Morgos, 2002). Trehalose is also used to prevent trihydrate formation. The addition of trehalose results in lower concentrations of lactitol being required (T<50°C; c<85%). The solubility of Lactitol MC is increased by the addition of trehalose (Imazu and Morgós, 2002), allowing drying at room temperature (Imazu, Ito, Fujita *et al.*, 2016). Excellent results are also reported for preservation with trehalose alone (Imazu, Ito, Fujita *et al.*, 2016; Kennedy and Pennington, 2014). This method was used to consolidate different type of waterlogged archaeological plant materials (Ito, Kobayashi, Fujita *et al.*, 2023)

Volume stability

In this study, the samples lost considerably amount of their volume immediately after conservation (cf. Figure 2, 3d). The volume remained more or less constant over the long term of ten years. The internal structure based on the µCT of the lactitol/trehalose impregnated samples confirms a poor volume stabilisation. There are examples where the interior of the sample has collapsed considerably. The stabilisation of highly degraded wood is problematic (Hoffmann, 2013; Wevers, 2005).

Interaction within the wood structure

The microstructure of the lactitol/trehalose treated pine sample (Pi1LaTr) is shown in Figures 4d, 5d, 6d. The inhomogeneity was particularly evident in the highly degraded areas: The lumen of the late wood tracheids is filled with the mixture of lactitol and trehalose. In contrast, the lumen of early wood tracheids are largely empty. This may be due to the relatively high concentration of the impregnation solution (70%). Wevers suggests that during air-drying, the consolidant is redistributed and there is a tendency to form a shell at the outside of the wood (Wevers, 2005). In addition, stabilised tracheids were observed in the highly degraded sample, where the cell walls of the earlywood are well defined and remarkably thick. In contrast, non-stabilised tracheids were observed in the core sample taken from the well-preserved area (cf. Figure 4d and 5d). The consolidants are deposited on the degraded cell wall and appear to strengthen it significantly (cf. Figure 6d). However, many cracks are evident, indicating the brittleness of the consolidant, which shows a crylstal-like structure adhering to the cell wall.

3.4. Polyethylene glycol

Background

The use of polyethylene glycol (PEG), a type of water-soluble wax, to preserve recent wood was described in Sweden and the USA as early as 1948/49 (Grattan and Clark, 1987). Only a few years later, Stamm mentioned the possibility of treating archaeological wet wood with PEG. Rosenqvist and Organ independently described the use of PEG in 1959, achieving good mould stabilisation (Organ, 1959; Rosenqvist, 1959a and 1959a). Entire ships have been preserved using this method. The most prominent example is the Swedish Vasa, the battleship of King Gustav Adolf II, which sank on its maiden voyage in 1628 and was not raised until 1961. It took 27 years to conserve, dry and restore the Vasa before it was exhibited in 1988 (Elding, 2012). Large-scale projects, such as the conservation of the Viking ship found in Skudelev, Denmark, in 1962, improved techniques and knowledge of conservation methods by adjusting the chain length of PEG molecules to the degree of degradation (Jensen, Petersen and Strætkvern, 2011). The two-stage impregnation was developed by P. Hoffmann during the conservation of the Bremen cog, whose wood has different degrees of degradation (Hoffmann, 2013 and 1986). The use of low molecular weight (LMW) PEG in the first impregnation aims to stabilise the intact cell walls of the well-preserved wood core. Subsequently, high molecular weight (HMW) PEG was used to preserve the severely degraded areas where only fragmentary cell walls are present. This method is still used today to preserve large wooden objects.

The use of freeze-drying of archaeological finds was probably first carried out in the mid-1950s in the Netherlands, the Soviet Union, Denmark, England and Switzerland (Ambrose, 1990). Initially, the material was freeze-dried without prior impregnation. The increase in water volume during freezing caused the find material to become damaged, dry and brittle (Ambrose, 1990; Jones and Eaton, 2006; Organ, 1959).

Freeze-drying is based on first freezing the impregnated object. By reducing the pressure in the lyophilisation unit, sublimation of the gaseous water from the structure takes place. In the freeze dryer, the water re-sublimates as ice on a cooled condenser. This avoids the liquid phase in the object where surface tensions occur. However, the increase in water volume during freezing damages the find material, making it very dry and brittle (Ambrose, 1990; Organ, 1959). Christensen (Christensen, 1971) found a way to avoid this damage by using the freeze-drying process in combination with the solvent tertiary butyl alcohol. The advantage of using organic solvents is that they freeze and sublime easily. The disadvantage is the explosiveness and residual solvent content in the freeze-dried matrix. A. Rosenqvist (Rosenqvist, 1959b) described the process on the Oseberg finds. In the 1960s, archaeological wet wood finds from Papua New Guinea were first impregnated with low molecular weight PEG and then freeze-dried (Ambrose, 1990). The LMW PEG acts as a cryoprotectant and reduces the expansion of water during freezing. As early as 1978, Elmer (1979) described the advantages of the freeze-drying method, such as economy, reliability and reversibility, in the comparative trials on wet wood conservation in Switzerland.

In their research, Cook and Grattan (Cook and Grattan, 1991) combined LMW and HMW PEG with lyophilisation to match the amount of PEG used to the degree of degradation and the species of specimen. A distinction is made between lumen-filling methods and cell wall swelling, or bulking. The low molecular weight PEG acts as a cryoprotectant and prevents water from expanding during freezing. In their research, Cook and Grattan (Cook and Grattan, 1991) combined low and high molecular weight PEGs with lyophilization to match the amount of PEG used to the degree of degradation and the type of wood found. This method is now widely used and gives good results (Harvie, 2023).

Freezing creates a framework of consolidant surrounded by water. Freeze-drying removes the water, leaving the framework of the consolidant in place, stabilising the find. Because the water has

been removed from the find, it is much lighter than in its water-saturated state. Regarding the technical requirements for freeze-drying wetland finds, Hoffmann *et al*. (Hoffmann, Riens and Eckstein, 1991) describe comparative studies on the drying of wooden artefacts. Due to the increased radiant heat and the lack of water vapour removal, freeze-drying with a cooled recipient is recommended (Hoffmann, Riens and Eckstein, 1991; Jensen, Strætkvern, Schnell *et al*., 2009).

The disadvantage of using hygroscopic low molecular weight polyethylene glycol is that the melting point of the aqueous solution cannot be lowered during lyophilisation (Schnell and Jensen, 2007). Furthermore, they are mobile during storage, migrate out of the object and carry an increased risk of degradation reactions after conservation due to their hygroscopicity (Walsh-Korb and Avérous, 2019). Accordingly, only high molecular weight PEG 2000 is usually used for pre-soaking, especially in Scandinavian countries (Harvie, 2023; Jensen, Petersen and Strætkvern, 2011).

Volume stability

Polyethylene glycol (PEG 2000) one-step and freeze-drying

Good volume stabilisation was achieved by impregnation with PEG 2000 and lyophilisation (cf. Figure 2). After 10 years, the samples conserved with PEG 2000 showed consistently high values of volume stability. The internal structure analysed with µCT data confirmed good volume stability. It is noticeable that samples treated with an aqueous solution of PEG 2000 before freeze-drying show the formation of cracks (cf. Figure 3e). The development of cracks can be explained by the freeze-drying process, where the first step is the freezing of the impregnated wood. The freezing of the aqueous solution in the wood leads to an expansion of its volume, resulting in cracks (Jensen, Jørgensen and Schnell, 2002). PEG-conserved objects have low strength (Bräker, Schoch and Schweingruber, 1979). In addition, the cracks that can form during freezing may increase fragility.

Polyethylene glycol (PEG 400 and 4000) two-step and freeze-drying

A good volume stabilisation was also achieved in the samples conserved in two steps with PEG 400 and PEG 4000 followed by lyophilisation (cf. Figure 2). The volumes of the samples did not change significantly after 10 years.

Considering the internal structures with µCT, the volume stabilisation inside the samples is good (cf. Figure 3f). The analyses showed the formation of cracks within the samples (Stelzner, Stelzner, Martinez-Garcia *et al*., 2022). The cracks appear to be less pronounced than in the samples impregnated with one-step or three-step PEG prior to lyophilisation. In addition, a collapsed internal structure can be observed in some samples. This may be due to the low critical temperature of the PEG 400 and 4000 solutions, which may not freeze during freeze-drying (Stelzner, 2018, Jensen, Jørgensen and Schnell, 2002).

Polyethylene glycol (PEG 400, 1500 and 4000) three-step and freeze-drying

Less shrinkage was obtained from the samples conserved in three steps with PEG 400, PEG 1500 and PEG 4000 and then lyophilised (cf. Figure 2). The volume was stable over a period of ten years. The formation of cracks and collapse in the structure was also confirmed (cf. Figure 3g).

Interaction within the wood structure

Polyethylene glycol (PEG 2000) one-step and freeze-drying

The microstructure of the sample impregnated with an aqueous solution of PEG 2000 prior to lyophilisation is shown in Figure 4e, 5e and 6e. The random distribution of PEG in the lumen of the wood tissue, which has a porous structure due to freeze-drying, can be seen in the lumen of

some tracheids (Figure 5e). More PEG is deposited in the highly degraded outer area of the sample than in the less degraded areas (Figure 4e). In the low degraded areas, the cell walls of the latewood tracheids are partially compact, but the degraded secondary cell wall is shrunken and detached from the compound middle lamella. In the severely degraded areas, the cell walls of the earlywood appear very thin (cf. Figure 4e and 5e). There are several areas where the secondary cell wall has degraded and separated from the well-preserved compound middle lamella. However, it appears that some cavities within the cell wall are filled with the PEG (cf. Figure 6e).

Polyethylene glycol (PEG 400 and 4000) two-step and freeze-drying

The microstructure of a sample treated with an aqueous solution of PEG 400 and PEG 4000 is shown in Figure 4f, 5f and 6f. Large inorganic crystals from the burial environment have been incorporated into the wood tissue (cf. Figure 4f). The secondary cell wall shows a high degree of degradation, while the composite middle lamella is well visible. The degraded structure is stabilised by a random distribution of freeze-dried high molecular weight PEG in the lumina (cf. Figure 5f). A higher concentration of PEG was observed in the highly degraded outer areas in the lumen of both early and late wood. Deposits of consolidants are visible in the secondary cell wall of the tracheids (cf. Figure 6f). However, gaps in the cell walls indicate shrinkage of the secondary cell wall.

Polyethylene glycol (PEG 400, 1500 and 4000) three-step and freeze-drying

The microstructure of the sample treated with an aqueous solution containing PEG 400, 1500 and 4000 prior to lyophilisation is shown in Figure 4g, 5g and 6g). The structure is well preserved due to the PEG being deposited in the lumen. In the highly degraded areas, some tracheids do not appear to be stabilised at all, whereas the less degraded tracheids are well preserved (cf. Figure 4g). The degraded cell wall is additionally stabilised by the consolidant, but not completely, leaving gaps between the compound middle lamella and the secondary wall, which may have shrunk (cf. Figure 5g and 6g).

The study showed that, low molecular weight PEG appeared to stabilise the cell walls. PEG of higher molecular weight is also precipitated on the cell walls. High concentrations also fill the lumen. This observation is confirmed by several studies (Bilz, Grant and Young, 1999; Cook and Grattan, 1991; Hoffmann, 1986). During impregnation, PEG penetrates the mesopores of the wood cell wall and replaces the water. This can happen even in sound cell walls, which are penetrated up to a molecular weight of 3000 g/mol (Penttilä, Altgen, Awais *et al.*, 2020). Only a fraction of the PEG interacts with the wood, especially with lignin, resulting in close molecular interaction and mechanical stability (Bardet, Gerbaud, Giffard *et al.*, 2009; Bardet, Gerbaud, Trân *et al.,*2007).

3.5. Saccharose

Background

Since the publication of Parrent (Parrent, 1985), for example, who achieved acceptable stabilisation results of wet wood, many experiments have been carried out with the inexpensive conservation sucrose (cane sugar) (e.g. (Hoffmann, 1996a; Koesling, 1992). For example, a Bronze Age dugout canoe from Ivera, Italy (Strigazzi, 1997) and the 18-metre-long medieval cargo sailer from Immenstadt on Lake Constance were preserved with normal household sugar. The advantage of the method appeared to lie in the affinity of the sugar to wood, its small molecular size and the associated fast and effective conservation. Sugar conservation is hardly used today. This is because the disaccharide sugar is split into its strongly hygroscopic building blocks glucose and fructose by acid or enzymatic degradation by microorganisms (Schiweck, 1996). The conservation solutions can only be stabilised by massive use of biocides (Mietke and Martin, 1999). For this reason, many conservators today prefer other methods.

Volume stability

The samples conserved with saccharose analysed in this study show a poorer conservation overall (cf. Figure 2) and the results vary greatly which confirms the results from other researchers that found that this method yields less reliable results (Grattan and Clarke, 1987; Hoffmann, 1996a). Figure 3h presents a nicely stabilised structure, however, significant collapse was documented in other samples (Stelzner, Stelzner, Martinez-Garcia *et al.*, 2022). The volume of the saccharose conserved samples revealed good stabilisation over time.

The reason for low stabilisation is not solely related to a low concentration of consolidant. There can also occure problems with highly concentrated solutions. Their susceptibility to degradation by osmotolerant microorganisms can lead to the development of slime and gases, which can prevent consolidants from penetrating the wood. Due to the low penetration of the biocides, fermentation processes cannot be prevented. Saccharose is decomposed by chemical or microbiological processes. It is is converted into the monosaccharides of fructose and glucose having lower stabilisation properties. These degradation products are also more more hygroscopic leading to a damp surface and poorer drying (Hoffmann, 2010; Mietke and Martin, 1999; Schiweck, 1996).

Interaction within the wood structure

The microstructure of samples treated with saccharose is shown in Figure 4h, 5h and 6h. It is absorbed differently by the structure. Saccharose was deposited predominantly in the latewood tracheids with their small lumen. Partially also the earlywood was filled (cf. Figure 4h and 5h). These findings are confirmed by other studies, where it was observed that saccharose fills most of the tracheids (Hoffmann, 2013) but an uneven uptake of saccharose was suspected (Hoffmann, 1996b). A lower uptake of saccharose was observed in the tylose-containing earlywood vessels was observed (Schmitt and Noldt, 1994). The structure of the tylose cell wall, which contains an inner layer of suberin, a chemically very resistant hydrophobic material is assumed to be the reason. Saccharose accumulates in the small latewood vessels and in the parenchyma cells because the the hydroxyl groups of cellulose interact with those of saccharose. Thereby hydroxyl bonds are formed (Broda and Hill, 2021; Parrent, 1985).

The ability of saccharose to fill the wood structure by bulking the vessels, lumina, and cell walls is mentioned in earlier studies (Parrent, 1985). Considerably more saccharose was located in the low degraded area, where the lumen of the earlywood tracheids is filled as well (cf. Figure 4h). The fact that conservation with saccharose is better for well-preserved wood is also mentioned by Hoffmann (Hoffmann, 1996b). It was also found that the uptake of saccharose is dependent on the the anatomical direction: the uptake is higher in the tangential direction due to the degradation of the pits and the higher permeability of the solution (Hoffmann, 1994).

Shrinkage of the secondary cell walls of some tracheids was observed, leaving gaps visible between the secondary cell wall and the compound middle lamella (cf. Figure 6h). In the SEM, saccharose is visible covering the residual cell walls and in the lumina which is confirmed by other studies (Hoffmann, Pérez de Andrés, Sierra Méndez *et al.*, 1995).

3.6. Silicone oil

Background

In 1980, Gunter van Hagen patented his work on the consolidation of animal tissue with silicone based polymers (US - US-4205059-A), where he uses both a polymer and a catalyst followed by introducion of a cross linker (Kavvouras, Kostarelou, Zisi *et al.*, 2009). A few years later, in 1996, researchers at Archaeological Preservation Research Laboratory of Texas A&M University experi-

mented got several US patents (US - 5,789,087/ US - 6,022,589/ US - 6,020,027/ US - 6,432,553/ US - 6,835,411) on the treatment of archaeological wood with 'silicon oils' and methyltrimethoxysilane (MTMOS) for wood conservation where the cell walls are impregnated with polymers and cross-linkers followed by the addition of catalyst (Hamilton, 2010; Smith, 2003). The experiments on this method were continoued (Kavvouras, Kostarelou, Zisi *et al.*, 2009; Toloczko and Crawshaw, 2023). Further, a lot of research is currently being done on the treatment of silanes and siloxanes (Broda, Spear, Curling *et al.*, 2021; Broda. Dąbek, Dutkiewicz *et al.,* 2020; Broda, Curling, Spear *et al.,* 2019).

Volume stability

The samples in this study were treated with two kinds of silicone oil (SFD1 and SFD5), a crosslinker (methyltrimethoxysilane, MTMS) and a catalyst (dibutyltin diacetate/dibutyltin diacetate, DBDTA) (Table 1). These samples tend to show poorer volume stabilisation overall (cf. Figure 2). These findings are confirmed by former studies (Kavvouras, Kostarelou, Zisi *et al.*, 2009). However, the volume is stable after ten years. The inner structure analysed with µCT shows varying results (cf. Figure 3i). There are samples where the structure has collapsed (Stelzner, Stelzner, Martinez-Garcia *et al.*, 2022).

Interaction within the wood structure

The microstructure of samples treated with silicone oil is shown in Figure 4i, 5i and 6i showing a well-preserved structure. The uptake of silicone is dependent on the state of localisation/state of degradation of the coresample: more silicone is concentrated in the outer high degraded areas than in the well preserved center of the sample (cf. Figure 3i and 4i). The consolidant is predominantly deposited in the small-lumen latewood where no structural details are visible (cf. Figure 5i). Only to a lower fraction the lumen is filled in the earlywood tracheids. The cell walls are fully saturated with silicone which is seen in the earlywood (cf. Figure 6i). This is due to the high concentration of approximately 100% of the conservation solution (cf. Table 1). The stabilisation is however, dependent of the chemical composition of the organosilicons (Broda, Dąbek, Dutkiewicz *et al.*, 2020). Alkoxysilanes seem to coat the cell walls while siloxanes cover the cell walls but also fill the lumen. Dependent on the amount of MTMS, for example, the surface area and total pore volume is decreasing. A softening effect as well as the reduction of moisture content was observed, which was dependent on the degree of degradation and the type of wood (Broda, Spear, Curling *et al.*, 2021). MTMS bonds with wood polymers via hydrogen or ionic bonds involving amino groups. In addition, Alkoxysilanes can also react not only with the hydroxyl groups of the wood, but also condense with their own molecules. Through these reactions, a potential spatial network is created that stabilizes the structure of the wood (Popescu and Broda, 2021).

4. Conclusion

Waterlogged archaeological wood is degraded during burial. If it is drying after excavation, it will suffer from shrinkage, collapse and cracks. Therefore, conservation measures are prerequisits for the preservation of archaeological objects. In this study, the most frequently used methods were compared by quantifying the damage patterns: shrinkage was evaluated by structured-light 3D scanning before and after conservation and collapse and cracks was analysed using µCT.

Reliable stabilisation of the surface was achieved with the conservation methods polyethylene glycol (PEG), alcohol-ether resin and melamine formaldehyde Kauramin 800®. The other conservation methods caused considerable fluctuations and, in some cases, a large loss of volume. The volume change over 10 years period in uncontrolled museum climate, is considerably reduced through conservation measures (Stelzner, Stelzner, Martinez-Garcia *et al.*, 2022).

For the first time, the internal structure of the sample was considered and the damage patterns collapse and cracks were analysed. Collapse takes place, when liquid phases are forming during drying. The evaporating water causes this type of damage by the development of capillary forces derived from surface tension. This is avoided by the use of solvent drying and freeze-drying. However, liquid phases can also result in collapse in very degraded wood during freeze-drying (Jensen, Jørgensen and Schnell 2002, Schnell and Jensen, 2007; Stelzner, 2018). Moreover, the formation of ice crystals during freezing can result in cracks due to volume expansion of the aqueous solution. It seems that the addition of low molecular weight PEG reduces this effect.

The interaction of the consolidant with the wood matrix was investigated by analysing the microstructure on a series of pine samples with SEM and microscopy and the cross-sectional images from XCT near the same surface (Stelzner, Stelzner, Gwerder *et al.*, 2023). The consolidants could be identified in the structure, with the resins (alcohol-ether resin, melamine resin) mainly in the cell walls, and the PEG and sugars (lactitol/trehalose, saccharose) also in the cell lumina whereas the silicone was seen throughout the wood structure. The distribution of the consolidants seems to be determined by the drying method. In the air-dried samples the consolidants (saccharose and lactitol/trehalose) were mainly deposited in the late wood cells. On the other hand, the freeze-dried PEG matrix was distributed over the entire structure of the sample. Besides drying, wood anatomy and degree of degradation are important factors.

In order to preserve decayed waterlogged wooden archaeological objects, the stabilisation of the surface and the internal structure is essential. In addition, the distribution of the consolidant plays a major role. However, these observations also show that further research and validation of the results are needed. Further studies will analyse the structure of the wet samples before conservation and the sample after conservation as well as the stability of consolidants in museum climates.

5. Acknowledgements

The Federal Cultural Foundation and the Cultural Foundation of German States funded the development of the reference collection for archaeological wood. The authors thank all participants of the KUR project for their work in documentation and conserving the wooden samples. We acknowledge the KIT light source and the IPS for provision of instruments within the Imaging Cluster and we would like to thank the Institute for Beam Physics and Technology (IBPT) for the operation of the storage ring, the Karlsruhe Research Accelerator (KARA).

6. Funding

This research was funded by the German Research Foundation (DFG) - 416877131 and the Swiss National Science Foundation (SNSF) - 200021E_183684 and 206021_189608.

7. References

Altgen, M., Awais, M., Altgen, D., Klüppel, A., Mäkelä, M.and Rautkari, L. (2020). Distribution and curing reactions of melamine formaldehyde resin in cells of impregnation-modified wood. *Sci Rep,* 10, 3366. https://doi.org/10.1038/s41598-020-60418-3

Ambrose, W. R. (1990). Application of freeze-drying to archaeological wood. In R. M. Rowell and R. J. Barbour (Eds.), *Archaeological Wood* (pp. 235-261). American Chemical Society. https://doi.org/10.1021/ba-1990-0225.ch010

Barbour, R. J.and Leney, L. (1981). Shrinkage and collapse in waterlogged archaeological wood: Contribution III Hoko River series. In D. Grattan and J. C. McCawley (Eds.), *Proceedings of the ICOM Waterlogged Wood Working Group Conference. Ottawa, 1981* (pp. 208-225). ICOM-CC.

Bardet, M., Gerbaud, G., Giffard, M., Doan, C., Hediger, S.and Le Pape, L. (2009). 13C high-resolution solid-state NMR for structural elucidation of archaeological woods. *Prog. Nucl. Magn. Reson. Spectrosc.,* 55, 199-214. https://doi.org/doi:10.1016/j.pnmrs.2009.02.001

Bardet, M., Gerbaud, G., Trân, Q.-K.and Hediger, S. (2007). Study of interactions between polyethylene glycol and archaeological wood components by 13C high-resolution solid-state CP-MAS NMR. *J. Archaeol. Sci.,* 34, 1670-1676. https://doi.org/10.1016/j.jas.2006.12.005

Bill, J.and Mühlethaler, B. (1979). Zum Holzaufbau und zur Entwicklung der Holzkonservierung. *Z. Für Schweiz. Archaeol. Kunstgesch.,* 36 (2), 99-102. https://doi.org/10.5169/SEALS-167221

Bilz, M., Grant, T.and Young, G. (1999). Treating Waterlogged Basketry: A Study of Polyethylene Glycol Penetration into the Inner Bark of Western Red Cedar. In C. Bonnot-Diconne, X. Hiron, Q. Khoi Tran and P. Hoffmann (Eds.), *Proceedings of the 7th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Grenoble 1998* (pp. 249-253). ICOM-CC.

Björdal, C. G. (2012). Microbial degradation of waterlogged archaeological wood. *J. Cult. Herit.,* 13 (3), S118-S122. https://doi.org/10.1016/j.culher.2012.02.003

Bräker, O. U.and Bill, J. (Eds.). (1979). Zum derzeitigen Stand der Nassholzkonservierung. Diskussion der Grundlagen und Resultate eines von Fachlaboratorien 1976-1978 durchgeführten Methodenvergleiches. *Z. Für Schweiz. Archaeol. Kunstgesch.,* 36(2), 97-145.

Bräker, O. U., Schoch, W.and Schweingruber, F. H. (1979). Ergebnisse des Nassholzkonservierungsversuchs. Naturwissenschaftliche Wertung. *Z. Für Schweiz. Archaeol. Kunstgesch.,* 36(2), 131-133. https://doi.org/10.5169/seals-167223

Brather, S., Hoffmann, P.and Straetkvern, K. (2018). *Field conservation of waterlogged timbers with Lactitol at Qatna, Syria*. In *Wet Organic Archaeological Materials 2016. Proceedings of the 7th ICOM-CC Wet Organic Archaeological Materials Working Group Conference, Florence 2016* (pp. 134-142). ICOM-CC.

Broda, M.and Hill, C. A. S. (2021). Conservation of Waterlogged Wood—Past, Present and Future Perspectives. *Forests,* 12. https://doi.org/10.3390/f12091193

Broda, M., Curling, S. F., Spear, M. J.and Hill, C. A. S. (2019). Effect of methyltrimethoxysilane impregnation on the cell wall porosity and water vapour sorption of archaeological waterlogged oak. *Wood Sci. Technol.,* 53, 703-726. https://doi.org/10.1007/s00226-019-01095-y

Broda, M., Dąbek, I., Dutkiewicz, A., Dutkiewicz, M., Popescu, C.-M., Mazela, B.and Maciejewski, H. (2020). Organosilicons of different molecular size and chemical structure as consolidants for waterlogged archaeological wood – a new reversible and retreatable method. *Sci. Rep.,* 10, 2188. https://doi.org/10.1038/s41598-020-59240-8

Broda, M., Spear, M. J., Curling, S. F.and Ormondroyd, G. A. (2021). The Viscoelastic Behaviour of Waterlogged Archaeological Wood Treated with Methyltrimethoxysilane. *Materials,* 14, 5150. https://doi.org/10.3390/ma14185150

Christensen, B. B. (1951). Om konservering af mosefundne trægenstande - Conservation of waterlogged wood. *Aarbøger Nord. Oldkynd. Og Hist.,* 1, 22-62.

Christensen, B. B. (1970). *The conservation of waterlogged wood in the National Museum of Denmark, Museumstekniske studier*. The National Museum of Denmark.

Christensen, B. B. (1971). Developments in the Treatment of Waterlogged Wood in the National Museum of Denmark During the Years 1962-69. *Stud. Conserv.,* 16, 27-44. https://doi.org/10.1179/sic.1970.s1.004

Cook, C.and Grattan, D. (1991). A method of calculation the concentration of PEG for freeze-drying waterlogged wood. In Hoffmann, P. (Ed.), *Proceedings of the 4th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Bremerhaven 1990* (pp. 239-252). ICOM-CC.

Ebert, H. (1977). Zur Feuchtholzkonservierung. *Arbeitsblätter Restaur.*, 8(1), 78-80.

Elding, L. I. (2012). *Vasa: recent preservation research*. In K. Strætkvern and E. Williams (Eds.), *Proceedings of the 11th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Greenville 2010* (pp. 371-382). ICOM-CC.

Elmer, J. Th. (1979). Die Gefriertrocknungsmethode. *Z. Für Schweiz. Archaeol. Kunstgesch.,* 36(2), 131-133. https://doi.org/10.5169/seals-167224

Grattan, D. W. (1987). Waterlogged wood. In C. Pearson (Ed.), *Conservation of Marine Archaeological Objects* (pp. 55-67). Butterworth-Heinemann. https://doi.org/10.1016/B978-0-408-10668-9.50009-5

Grattan, D. W.and Clarke, R. W. (1987). Conservation of waterlogged wood. In C. Pearson (Ed.), *Conservation of Marine Archaeological Objects* (pp. 164-206). Butterworth-Heinemann. https://doi.org/10.1016/B978-0-408-10668-9.50015-0

Haas, A. (1985). Neue Entwicklung bei der Nassholzkonservierung mit Melamin-Formaldehyd-Kondensaten. *Arbeitsblätter Restaur.,* 8(2), 122-127.

Haas, A., Müller-Beck, H.-J.and Schweingruber, F. H. (1961). Erfahrungen bei der Konservierung von Feuchthölzern mi Arigal C (Ciba). In *Jahrbuch Bernisches Historisches Museum* (pp. 509-537). Bernisches Historisches Museum.

Hamilton, D. L. (2010). *Methods of Conserving Archaeological Material from Underwater Sites* (2nd ed.). Texas A&M University Press.

Harvie, J. (2023). Factors influencing the choice between single and two-step methods of impregnating waterlogged wood with PEG proir to freeze-drying (part II: theory). In I. Hovmand, M. Felter, I. Stelzner, E. Sangouard, K. M. Sullivan and N. Vasilyeva (Eds.), *Wet Organic Materials 2023. Proceedings of the 15th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Mainz 2023* (pp. 88-95). ICOM-CC.

Hawley, L. F. (1931). Wood-Liquid Relations. *Tech. Bull.,* 248, 1-34.

Hoffmann, P. (1986). On the stabilization of waterlogged oakwood with PEG. II. Designing a two-step treatment for multi-quality timbers. *Stud. Conserv.,* 31, 103-113.

Hoffmann, P. (1994). Sucrose for stabilizing waterlogged wood II. Stabilization and the degree of degradation. In P. Hoffmann, T. W. Daley and T. Grant (Eds.), *Proceedings of the 5th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Portland/Maine (USA), 1993* (pp. 357-379). ICOM-CC. https://doi.org/10.1179/sic.1986.31.3.103

Hoffmann, P. (1996a). Zur Naßholzkonservierung mit Zucker am Deutschen Schiffahrtsmuseum eine Bilanz. *Arbeitsblätter Restaur.* 10, 231–241.

Hoffmann, P. (1996b). Sucrose for waterlogged wood - not so simple at all. In *ICOM Committee for Conservation 11th Triennial Meeting, Edinburgh 1996* (pp. 657-662). ICOM-CC.

Hoffmann, P. (2009). On the efficiency of stabilisation methods for large waterlogged wooden objects, and on how to choose a method. In K. Straetkvern and D. J. Huisman (Eds.), *Proceedings of the 10th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Amsterdam 2007* (pp. 323-350). ICOM-CC.

Hoffmann, P. (2010). On the long-term visco-elastic behaviour of polyethylene glycol (PEG) impregnated archaeological oak wood. *Holzforschung,* 64, 725-728. https://doi.org/10.1515/hf.2010.082

Hoffmann, P. (2013). *Conservation of archaeological ships and boats: personal experiences*. Archetype Publications.

Hoffmann, P., Pérez de Andrés, C., Sierra Mendez, J. L., Ramiere, R., Tran, Q. K.and Weber, U. M. (1995). European Inter-laboratory study on the conservation of waterlogged wood with sucrose. In P.

Hoffmann (Ed.), *Proceedings of the 5th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Portland/Maine (USA) 1993* (pp. 309-335). ICOM-CC.

Hoffmann, P., Riens, R.and Eckstein, D. (1991). Zur Gefriertrocknung schwer zu konservierender Naßhölzer. *Arbeitsblätter Restaur.,* 13, 193-205.

Hug, B. (1979). Die Methode Arigal C. *Z. Für Schweiz. Archaeol. Kunstgesch.,* 36(2), 124-127. https://doi.org/10.5169/seals-167223

Imazu, S.and Morgos, A. (1997). Conserving waterlogged wood using sugar alcohols and comparison the effectiveness of Lactitol MC, Saccharose and PEG 4000 treatment. In P. Hoffmann, T. Daley, T. Grant and J. A. Spriggs (Eds.), *Proceedings of the 6th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, York 1996* (pp. 235-255). ICOM-CC.

Imazu, S.and Morgós, A. (1999). Lactitol conservation of a 6 m long waterlogged timber coffin. In C. Bonnot-Diconne, X. Hiron, K. Tran and P. Hoffmann (Eds.), *Proceedings of the 7th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Grenoble 1998* (pp. 210-214). ICOM-CC.

Imazu, S.and Morgós, A. (2002). An improvement on the Lactitol MC conservation method used for the conservation of archaeological waterlogged wood (The conservation method using Lactitol MC and Trehalose mixture). In P. Hoffmann, J. A. Spriggs, T. Grant, C. Cook and A. Recht (Eds.), *Proceedings of the 8th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Stockholm 2001* (pp. 413-428). ICOM-CC.

Imazu, S., Ito, K., Fujita, H.and Morgos, A. (2016). The rapid trehalose conservation method for archaeological waterlogged wood and lacquerware. In T. Grant and C. Cook (Eds.), *Proceedings of the 12th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Istanbul 2013* (pp. 110-117). ICOM-CC.

Ito, K., Kobayashi, A., Fujita, H.and Sawada, M. (2023). Conservation treatment of organic objects using amorphous glass of trehalose. In I. Hovmand, M. Felter, I. Stelzner, E. Sangouard, K. M. Sullivan and N. Vasilyeva (Eds.), *Wet Organic Materials 2023, Proceedings of the 15th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Mainz 2023* (pp. 221-227). ICOM-CC.

Jensen, P., Jørgensen, G.and Schnell, U. (2002). Dynamic LV-SEM analyses of freeze-drying processes for waterlogged wood. In: P. Hoffmann, T. Grant, J. A. Spriggs, C. Cook and A. Recht (Eds.), *Proceedings of the 8th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Stockholm 2001* (pp. 319-333). ICOM-CC.

Jensen, P., Petersen, A. H.and Strætkvern, K. (2011). From the Skuldelev to the Roskilde ships - 50 years of shipwreck conservation at the National Musem of Denmark. In M. Ek (Ed.), *Shipwrecks 2011. Chemistry and preservation of waterlogged wooden shipwrecks, 18-21 October, Stockholm 2011* (pp. 14-20). Vasa Museet and KTH.

Jensen, P., Strætkvern, K., Schnell, U.and Jensen, J. B. (2009). Technical specifications for equipment for vacuum freeze-drying of PEG impregnated waterlogged organic materials. In K. Strætkvern and D. J. Huisman (Eds.), *Proceedings of the 10th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference: Amsterdam 2007* (pp. 417-438). ICOM-CC.

Jones, M.and Eaton, R. (2006). Conservation of ancient timbers from the sea. In E. May and M. Jones (Eds.), *Conservation science: heritage materials* (pp. 266-308). Royal Society of Chemistry Publishing.

Kavkler, K. (2023). Analytical methods can help with the melamine conservation process: A case study on a logboat from the Ljubljanica River. In I. Hovmand, M. Felter, I. Stelzner, E. Sangouard, K. M. Sullivan and N. Vasilyeva (Eds.), *Wet Organic Materials 2023. Proceedings of the 15th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Mainz 2023* (pp. 236-241). ICOM-CC.

Kavvouras, P. K., Kostarelou, C., Zisi, A., Petrou, M.and Moraitou, G. (2009). Use of Silanol-Terminated Polydimethylsiloxane in the Conservation of Waterlogged Archaeological Wood. *Stud. Conserv.,* 54, 65-76. https://doi.org/10.1179/sic.2009.54.2.65

Kennedy, A.and Pennington, E. R. (2014). Conservation of chemically degraded waterlogged wood with sugars. *Stud. Conserv.,* 59, 194-201. https://doi.org/10.1179/2047058413Y.0000000109

Kiliç, N.and Kiliç, A. G. (2019). An attenuated total reflection Fourier transform infrared (ATR-FTIR) spectroscopic study of waterlogged woods treated with melamine formaldehyde. *Vib. Spectrosc.,* 105, 102985. https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2019.102985

Kocabaş, U., Özsait-Kocabaş, I.and Kiliç, N. (2012). The Yenikapı shipwrecks: dismantling methods and first step to conservation. In K. Strætkvern and E. Williams (Eds.), *Proceedings of the 10th ICOM-CC Working Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Greenville 2010* (pp. 303-312). ICOM-CC.

Koesling, V. (1992). Konsolidierung wassergesättigter Naßholzfunde mit heißen Zuckerlösungen. *Arbeitsblätter Restaur.,* 8(2), 209-212.

Kramer, W. (1979). Die Alkohol-Äther-Harz-Methode. Z. *Für Schweiz. Archäol. Kunstgesch.,* 36(2), 127-131. https://doi.org/10.5169/seals-167224

Kramer, W.and Mühlethaler, B. (1968). Über die Erfahrungen mit der Alkoholäthermethode für die Konservierung von Nassholz am Schweizerischen Landesmuseum. *Z. Für Schweiz. Archäol. Kunstgesch.,* 25(2), 78-88. https://doi.org/10.5169/seals-165204

Mietke, H.and Martin, D. (1999). Sugar preservation of the Friesland ship. Chemical and microbiological investigations and insights. In C. Bonnot-Diconne, X. Hiron, Q. Khoi Tran, P. Hoffmann and P. Hoffmann (Eds.), *Proceedings of the 7th ICOM-CC Working Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Grenoble 1998* (pp. 204-209). ICOM-CC.

Moll-Dau, F., Klügl, J.and Wittköpper, M. (2022). *The Oldest Log Boat of Switzerland is Back to the Lake – The Realization of an Open-Air Display next to its Find Spot.* In E. Williams (Ed.), *Wet Organic Materials 2019. Proceedings of the 14th ICOM-CC Working Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Portsmouth 2019* (pp. 315-321). ICOM-CC.

Mühlethaler, B. (1973). *Conservation of waterlogged wood and wet leather*. Éditions Eyrolles.

Müller-Beck, H.-J.and Haas, A. (1959). Holzkonservierung mit Arigal C. In *Jahrbuch des Bernischen Historischen Museums in Bern* (vol. 37/38, Jahrgang 1957/58, pp. 260-271). Bernisches Historisches Museum.

Müller-Beck, H.-J.and Haas, A. (1960). A method for wood preservation using Arigal C. *Stud. Conserv.,* 5, 150-158.

Organ, R. M. (1959). Carbowax and Other Materials in the Treatment of Water-logged Paleolithic Wood. *Stud. Conserv.,* 4, 96-105. https://doi.org/10.1179/sic.1959.020

Parrent, J. M. (1985). The conservation of waterlogged wood using sucrose. *Stud. Conserv.,* 30, 63-72. https://doi.org/10.1179/sic.1985.30.2.63

Pedersen, N. B., Łucejko, J. J., Modugno, F.and Björdal, C. (2021). Correlation between bacterial decay and chemical changes in waterlogged archaeological wood analysed by light microscopy and Py-GC/MS. *Holzforschung,* 75, 635-645. https://doi.org/10.1515/hf-2020-0153

Penttilä, P. A., Altgen, M., Awais, M., Österberg, M., Rautkari, L.and Schweins, R. (2020). Bundling of cellulose microfibrils in native and polyethylene glycol-containing wood cell walls revealed by small-angle neutron scattering. *Sci. Rep.,* 10, 20844. https://doi.org/10.1038/s41598-020-77755-y

Popescu, C. M.and Broda, M. (2021). Interactions between different organosilicons and archaeological waterlogged wood. Evaluated by Infrared Spectroscopy. *Forests,* 12, 268. https://doi.org/10.3390/f12030268

Rosenqvist, A. M. (1959a). The stabilizing of wood found in the Viking ship of Oseberg. Part I. *Studies in Conservation,* 4, 13-22.

Rosenqvist, A. M., (1959b). The stabilizing of wood found in the Viking ship of Oseberg, Pt. II. *Studies in Conservation,* 4, 62–72.

Rowell, R. M.and Youngs, R. L. (1981). *Dimensional stabilization of wood in use* (No. FPL-RN-243). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. https://doi.org/10.2737/FPL-RN-243

Schiweck, H. (1996). Zucker/Saccharose. Seine anwendungstechnisch relevanten Eigenschaften bei der Nassholzkonservierung. *Arbeitsblätter Restaur.*, 8(2), 241-246.

Schmidt-Ott, K., André, C.and Bader, M. (2022). Fishing for Stability: Conserving a Fish Trap in a Block Excavation by the Alcohol-Ether-Resin Method. In E. Williams (Ed.), *Proceedings of the 14th ICOM-CC Wet Organic Archaeological Materials Conference, Portsmouth 2019* (pp. 322-327). ICOM-CC.

Schmidt-Ott, K., André, C., Liengme, G.and Hildbrand, E. (2023). Optimisation of the Alcohol-Ether-Resin method for wood and composite objects. In I. Hovmand, M. Felter, I. Stelzner, E. Sangouard, K. M. Sullivan and N. Vasilyeva (Eds.), *Proceedings of the 15th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Mainz 2023* (pp. 145-152). ICOM-CC.

Schmitt, U.and Noldt, U. (1994). Scanning electron microscopic observations on saccharose impregnation of waterlogged archaeological wood. In P. Hoffmann (Ed.), *Proceedings of the 5th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Portland 1993* (pp. 381-390). ICOM-CC.

Schnell, U.and Jensen, P. (2007). Determination of Maximum Freeze-drying Temperature for PEG-Impregnated Archaeological Wood. *Stud. Conserv.,* 52, 50-58. https://doi.org/10.1179/sic.2007.52.1.50

Singh, A. P., Kim, Y. S.and Chavan, R. R. (2022). Advances in understanding microbial deterioration of buried and waterlogged archaeological woods: a review. *Forests,* 13, 394. https://doi.org/10.3390/f13030394

Smith, C. W. (2003). *Archaeological conservation using polymers: practical applications for organic artifact stabilization*. Texas A&M University Press.

Spinella, A., Chillura Martino, D. F., Saladino, M. L., Sammartino, F., Caruso, F.and Caponetti, E. (2021). Solid state NMR investigation of the roman Acqualadroni rostrum: tenth year assessment of the consolidation treatment of the wooden part. *Cellulose,* 28, 1025-1038. https://doi.org/10.1007/s10570-020-03563-2

Stamm, A. J. (1974). Dimensional stabilization of wood with water soluble fire retardant bulking chemicals compared with polyethylene glycol-1000. *Wood Sci. Technol.,* 8, 300-306. https://doi.org/10.1007/BF00351863

Stelzner, I. (2018). Transfer into praxis. Evaluation of consolidants for freeze-drying archaeological wood. In E. Williams and E. Hocker (Eds.), *Proceedings of the 13th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Florence 2016* (pp. 325-332). ICOM-CC.

Stelzner, J.and Million, S. (2015). X-ray Computed Tomography for the anatomical and dendrochronological analysis of archaeological wood. *J. Archaeol. Sci.,* 55, 188-196. https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.12.015

Stelzner, I., Stelzner, J., Gwerder, D., Martinez-Garcia, J.and Schuetz, P. (2023). Imaging and Assessment of the Microstructure of Conserved Archaeological Pine. *Forests,* 14, 211. https://doi.org/10.3390/f14020211

Stelzner, I., Stelzner, J., Hamann, E., Zuber, M., Martinez-Garcia, J., Gwerder, D., Million, S.and Schuetz, P. (forthcoming). Non-destructive dendrochronology: Analysis of the influence of conservation agents in the wood structure with laboratory-based and synchrotron X-ray computed microtomography. In J. Bridgland (Ed.), *Working Towards a Sustainable Past. ICOM-CC 20th Triennial Conference Preprints, Valencia 2023*. ICOM-CC.

Stelzner, J., Stelzner, I., Martinez-Garcia, J., Gwerder, D., Wittköpper, M., Muskalla, W., Cramer, A., Heinz, G., Egg, M.and Schuetz, P. (2022). Stabilisation of waterlogged archaeological wood: the application of structured-light 3D scanning and micro computed tomography for analysing dimensional changes. *Herit. Sci.,* 10, 60. https://doi.org/10.1186/s40494-022-00686-6

Stelzner, I., Stelzner, J., Martinez-Garcia, J., Gwerder, D., Wittkoepper, M., Muskalla, W., Cramer, A., Heinz, G., Egg, M.and Schuetz, P. (2023). Evaluation of conservation methods for archaeological wet wood with structured light 3D scanning and µ-CT. In I. Hovmand, M. Felter, I. Stelzner, E. Sangouard, K. M. Sullivan and N. Vasilyeva (Eds.), *Wet Organic Archaeological Materials 2023. Proceedings of the 15th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Mainz 2023* (pp. 96-105). ICOM-CC.

Strigazzi, G. (1997). Nassholzkonservierung eines Einbaumschiffes der Bronzezeit, *Arbeitsblätter Restaur.* 8(1), 258-261.

Toloczko, S.and Crawshaw, A. (2023). Not all silicone oils are born equal! In I. Hovmand, M. Felter, I. Stelzner, E. Sangouard, K. M. Sullivan and N. Vasilyeva (Eds.), *Wet Organic Archaeological Materials 2023. Proceedings of the 15th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Mainz 2023* (p. 250). ICOM-CC.

Walsh-Korb, Z.and Avérous, L. (2019). Recent developments in the conservation of materials properties of historical wood. *Prog. Mater. Sci.,* 102, 167-221. https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2018.12.001

Wevers, A. (2005). Experiments with lactitol and xylitol. In P. Hoffmann, K. Straetkvern, J. A. Spriggs and D. Gregory (Eds.), *Proceedings of the 9th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Copenhagen 2004* (pp. 311-331). ICOM-CC.

Wittköpper, M. (1998). Der aktuelle Stand der Konservierung archäologischer Naßhölzer mit Melamin/ Aminoharzen am Römisch-Germanischen Zentralmuseum. *Arbeitsblätter Restaur.,* 8(2), 227-283.

Wittköpper, M., Muskalla, W., Brather, S., Le Boedec-Moesgard, A., Gebhadt, S., Klonk, S., André, C., Schmidt-Ott, K. and Smith, W. (2016). The KUR (conservation and restauration) project - a comparison of different methods to preserve waterlogged wood. In T. Grant and C. Cook (Eds.), *Proceedings of the 12th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Istanbul 2013* (pp. 134-143). ICOM-CC. www.rgzm.de/kur, 2022.

Vacuum Freeze-Drying of Waterlogged Archaeological Wood and Selecting the Impregnation Agent Prior to Drying

Kristiane Strætkvern
Conservator, National Museum of Denmark

Abstract: The article gives a short background about degradation of waterlogged wood, methods for conservation and how vacuum freeze-drying can meet the challenges related to the conservation of degraded waterlogged wood. A crucial parameter for a successful vacuum freeze-drying result, is the selection of the appropriate impregnation agent for pre-treating the wood prior to vacuum freeze drying. Almost thirty years of research in the National Museum of Denmark points to Polyethylene glycol (PEG 2000) as the impregnation agent fulfilling most of the listed criteria that are central in conservation of archaeological waterlogged artefacts that will be incorporated in heritage collections. Wood from two archaeological sites (Nydam and Roskilde Harbour), with very different types of artefacts and degradation, are used as examples on the conservation approaches and results in the National Museum of Denmark.

Keywords: Degree of degradation, collapse and shrinkage, vacuum freeze-drying, PEG 2000, impregnation agent properties,

Resumen: El artículo ofrece una breve aproximación sobre la degradación de la madera anegada, sus métodos de conservación y cómo la liofilización puede responder a los retos que supone su preservación. Un parámetro crucial para que este método sea un éxito es la selección del agente de impregnación apropiado para pretratar la madera antes de proceder a la liofilización. Casi treinta años de investigación en el Museo Nacional de Dinamarca señalan al polietilenglicol (PEG 2000) como el agente de impregnación idóneo, ya que cumple la mayoría de los criterios considerados fundamentales en la conservación de elementos arqueológicos anegados que pasan a formar parte de colecciones patrimoniales. La madera de dos yacimientos arqueológicos (Nydam y el puerto de Roskilde), con elementos y degradaciones muy diferentes, se utiliza en el Museo Nacional de Dinamarca como ejemplo de los enfoques y resultados alcanzables en el ámbito de la conservación.

Palabras clave: nivel de degradación, colapso y contracción, liofilización, PEG 2000, propiedades del agente de impregnación

Background - Waterlogged Archaeological Wood

Wood has been a key material for human beings since civilization began – for making a fire, for building shelters and inventory, for creating tools and utensils, for constructing ships, wagons, and other vehicles. Artefacts of wood can survive for thousands of years, once the environmental conditions are good. Long term survival of wooden artefacts is encountered in anoxic underwater or water saturated environments as only very few wood degrading insects, microorganisms and bacteria survive in such conditions. When wooden archaeological artefacts survive over time, they are signi-

ficant carriers of cultural and natural history, however essential properties in archaeological, degraded wood from these environments diverge considerably from those of fresh or undegraded wood, and findings of archaeological wooden artefacts require lengthy and often resource demanding conservation.

The major task in the conservation process is to bring the waterlogged, degraded, and unstable wooden artefact to a dry and stable condition, without losing information on the object's integrity; its surface, volume, shape, toolmarks, or material authenticity. The optimal conservation treatment produces long term stable artefacts and allows future (re)treatments or research.

The challenge can be met with different approaches, materials, and methods. The article focuses on the methods applied at the National Museum of Denmark, namely impregnation with Polyethylene glycol (PEG) in water, followed by vacuum freeze-drying. Wood from two different finds, Nydam and Roskilde Harbour, are used to give examples of the approaches and results.

Wood degradation

At a first glance, waterlogged, archaeological wood may appear undegraded and in perfect condition. On the microscopic level, the view is different. Archaeological wood buried in oxygen free waterlogged environments will typically be degraded by erosion bacteria. The degradation starts at the surface of the object and continues towards the centre of the object at various rates, depending on the wood species, the environment, the dimensions, and the geometry of the object. In anoxic waterlogged environments the degradation usually starts with the first and secondary cell walls, leaving behind waterlogged wooden cells with weakened middle lamellas, mainly consisting of lignin (High and Penkman, 2019; Björdal, Łucejko, Modugno *et al.,* 2021; Pedersen 2015; Gregory, Jensen, Matthiesen *et al.,* 2007).

During burial in the waterlogged environment, the degraded wood components are replaced with water, supporting the fragile structure. If the waterlogged degraded wooden artefact is exposed to uncontrolled drying, it will collapse, shrink, and warp and become unsuitable for documentation, research, conservation, and exhibition. This risk can be reduced by a well-planned conservation strategy, involving steps as protection in the field, wood characterisation, plans for intermediate and long-term storage, conservation, and post-conservation use.

The loss of wood mass - the degree of degradation of the wood - is a key parameter when deciding the full conservation process, for calculating the process duration and the costs. (Jensen, 1996a, 1996b). Wood degradation can be expressed as bulk density (mass of wood per volume: g/cm^3 or kg/m^3) and shall be compared with the corresponding reference value for wood of the same species. The bulk density correlates with the maximum water content (Umax, MWC or µmax % w/w), as seen in Figure 1, showing the theoretical maximum water content of wood as a function of the dry bulk density (Jensen and Gregory 2006). The higher the Umax percentage/ lower the bulk density, the greater is the loss of wood substance and the potential for shrinkage and collapse upon drying.

Collapse occurs during evaporation of free water from the cell lumen, when the capillary forces and the surface tension of the water exceeds the strength of the degraded cell wall. Upon collapse, the cells become flat and will be almost impossible to refill with liquid or air.

Shrinkage occurs upon removal of hygroscopically bound water in the cell wall, and causes cracks in the dry wood as well as reduction of the volume of the wood. The shrinkage is depending on degree of degradation and the anisotropy of the wood as demonstrated in Figure 2 (Jensen, Petersen and Strætkvern, 2002).

Nydam, the site, and the wooden finds

Nydam is a Danish wetland site where war offerings dating from 200-500 AC were excavated in the 1990'ies. The site has a high archaeological significance, and was extraordinarily rich of wooden weaponry, utensils, ship remains etc. The excavation and preservation of the finds from the site has produced valuable experience and research. (Jensen, Salomonsen, Strætkvern, 1996; Matthiesen, Strætkvern, Gregory et al., 2020). In Nydam, Ash (Fraxinus excelsior), Pine (Pinus sylvestris), Alder (Alnus), Spruce (Picea abies) and Lime (Tilia) were greatly represented wood species. Most of the wood from the site was homogenously and heavily degraded with densities between 0,090 and 0,120 g/cm^3, the values are indicated in the graphs on Figure 1 and 2.

Roskilde Harbour and the Viking Age ship

In 1996/97, nine shipwrecks were discovered and excavated in Roskilde Harbour in Denmark (Gøthche, 2006; Strætkvern and Gøthche, 2017). The number six shipwreck to be discovered was the Roskilde 6 ship, dated to 1030 AD (Viking Age). Approximately 25% of the original timbers were preserved and with a 32-meter-long keel, the Roskilde 6 ship is the longest Viking Age ship ever found. Oak (Quercus) was the dominating wood species used for the keels and keelson, planks, and the various types of frame timbers. Pine (Pinus sylvestris) was used in some of the planks. Wood from the Roskilde find had densities between 0,300 and 0,500 g/cm^3, also indicated on Figure 1 and 2. The densities were low in the surface with increasing densities towards the centre of the ship timbers.

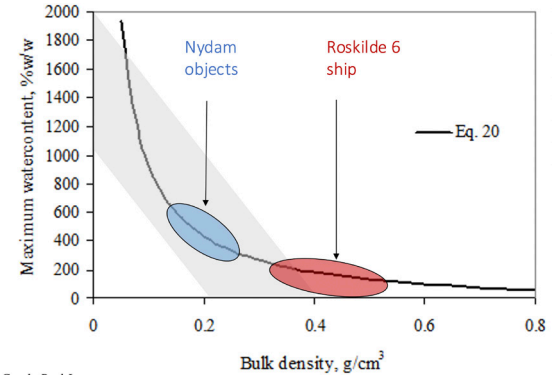


Figure 1. The correlation between bulk density vs. maximum water content in waterlogged archaeological wood (from Jensen and Gregory, 2006). The condition of wood from the Nydam site and the Roskilde 6 ship are plotted into the graph. The grey area indicates where collapse is likely to occur for these finds.

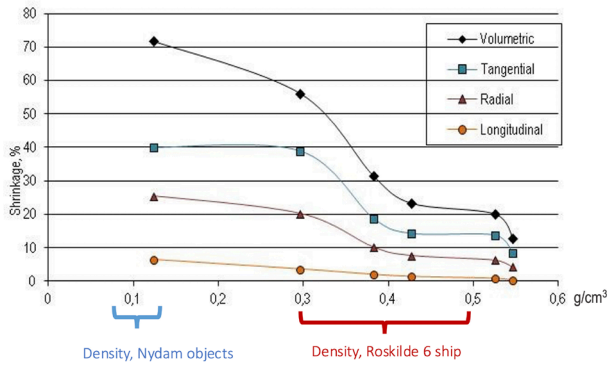


Figure 2. Shrinkage vs. anisotropy and degree of degradation in waterlogged archaeological wood (after Mikolaychuck, 1996 in Jensen, Petersen and Strætkvern 2002). The condition of wood from the Nydam site and the Roskilde 6 ship are indicated.

The artefacts from the Nydam site and the Roskilde ship were different with respect to age, wood species, dimensions, and degree of degradation. Yet, the risk of collapse and shrinkage of the waterlogged degraded wooden artefacts upon drying existed for both finds.

Selecting Vacuum Freeze-Drying

The surface tension of the water and the strong capillary forces in the wood structure are the mechanisms to overcome when drying degraded waterlogged wood. Over the years, many methods have been tested, used, applied, and reported on (Gregory, Jensen and Strætkvern, 2012; Hoffmann, 2009), but only a few will be mentioned here.

One path, is to apply methods involving the use of organic solvents, such as the Cellusolve method (Bojesen-Koefoed, Jensen, Meyer *et al.*, 1994b) or sublimation from Tertiary Butanol (Brorson-Christensen 1970), a method used in Denmark from the mid-70'ies until 1990. These methods involve risks for humans and the surrounding environment and require high fire- and human health protection measures.

Full impregnation methods with PEG, sugars or other, water-soluble substances are also possible. Methods and results are described by, for example, Jensen, Petersen and Strætkvern (2002), Hutchings and Spriggs (2004) and Hoffmann (2009 and 2013). These methods can be applied when access to special equipment is limited and collapse of the wood to some extent can be accepted. Fully sugar impregnated wood tends to be heavy, and the surfaces appear glossy, dark, or sticky if not sufficiently treated after impregnation.

Also based on a water-soluble impregnation agent, is the Kauramin method (Wittköpper, Brather, Muskalla *et al.*, 2013; Wittköpper 2013), where the wood is immersed in a solution of melamine formaldehyde polymer. When adding triethanolamine, the solution will eventually become acidic, and when the pH drops to 6–7, the chemicals poly-condensate and form a three-dimensional, insoluble, and hard polymer in the wood. The method produces good results when carried out by trained conservators, but the process can be difficult to control. The resin cannot be removed from the wood at a later stage, moreover, little research has been done on the long-term stability of the Kauramin.

Another direction, is to apply the vacuum freeze-drying method. The method was launched in the 1970'ies (Ambrose 1976; Andersen 1993) and was taken into use in the National Museum of Denmark in the 1990'ies. The method and equipment applied in Denmark are described by several authors and in proceedings from ICOM-CC Wet Organic Archaeological Materials Working Group Conferences (Bojesen-Koefoed, Jensen, Meyer *et al.*, 1994a; Jensen and Jensen, 2006; Jensen, Schnell, Jensen *et al.* 2009). The basic principle is, that the waterlogged, impregnated wood freezes in a chamber, vacuum is applied, and the ice inside the wood transforms from a solid phase to gas phase, inhibiting the liquid phase and the capillary forces to work. The vapor is continuously removed from the chamber via a vacuum pump through a condenser trapping the vapor. The process continues until there is no more ice left in the wood. Once the appropriate equipment is acquired and the right procedure is followed, the method produces excellent results; collapse is extremely rare, the shrinkage is minimal, the wood appears with a natural and light surface, and the process can be monitored and controlled by relatively simple means. A successful result is closely linked to the pre-treatment of the wood and the impregnation agent.

Selecting the appropriate impregnation agent prior to vacuum-freeze-drying

Polyethylene glycol (PEG) has been used as impregnation agent for waterlogged wood in Denmark since the early 1960'ies, applied for the first time for conservation of the five Skuldelev Viking ships (Jensen, Petersen and Strætkvern, 2002). PEG is a water-soluble, wax-like polymer, the higher the number, the higher is the molecular mass. Most of the Skuldelev Viking ship timbers were full impregnated with PEG 4000, air dried and shaped in humid and hot air chambers prior to mounting for exhibition.

The introduction of the vacuum-freeze-drying method in the National Museum in Denmark coincided with the task conserving the thousands of waterlogged wooden artefacts from the Nydam site. In addition to the high number of artefacts, they differed from previous finds in volume, shapes and details, degree of fragmentation, wood species and degree of degradation. This called for an approach that was different from the methods applied for shipwrecks, mainly consisting of heavy oak timbers. Owing to the degree of degradation of the waterlogged Nydam artefacts, it was clear that vacuum freeze-drying would give the best conservation results. The vacuum-freeze-drying plants in the laboratory were, however, insufficient for the project. To specify the requirements for

a new plant and secure a safe and efficient conservation of the Nydam finds, research was initiated to acquire the necessary insights. The research included investigation of key properties of a wide range of Polyethylene glycols, glycerol, keratin, sucrose, and other sugars. At the time, one of the dominating pre-treatment protocols was based on the combined use of a low molecular mass PEG, i.e., PEG 200 or 400, in combination with high molecular mass PEG, i.e., PEG 3350 (Cook and Grattan 1990). The properties of such combinations were also included in the investigations.

The Nydam find also comprised hundreds of pieces (mainly fragmented spear shafts) that could be used as test material. The homogeneous material served a as valuable source for research in the conservation of heavily degraded wood, in particular the correlation between the basic parameters in the vacuum freeze-drying process, the properties of the impregnation agent and the ability of the agent to reduce shrinkage and prevent collapse of the wood. Modern, undegraded wood samples were also used in the investigations. (Jensen, 1996a and 1996b; Bojesen-Koefoed, Helms, Jensen *et al.*, 1998; Strætkvern 2001; Jensen, and Schnell 2004).

The research results and experiences from the mid 1990'ties and the subsequent years pointed to PEG 2000 as the most optimal impregnation agent for pre-treatment prior to vacuum-freeze-drying of waterlogged archaeological wood. Table 1 provides and overview of physical properties of PEGs and water. These properties and other key criteria are presented and discussed below.

Agent	Molecular Mass	Description	Melting Point		Eutectic temp.	Density	Relative Impregnation time*	Pentration in Oak	Width	Length
			min	max						
	g/mol		C°	C°	C°	g/ccm		mm	Å	Å
Water	18	Liquid	0	100		1.000			3.1	3.1
PEG	200	Liquid		-50	-66	1.127	0.1	>20	3.6	23.2
PEG	300	Liquid	15	-10						
PEG	400	Liquid	4	8	-58	1.128	0.2	>20		
PEG	600	Liquid	17	22		1.128				
PEG	1000	Liquid	35	40	-27			>20		
PEG	1500	Solid/Paste	44	48	-23		0.7	>20		
PEG	**2000**	**Solid**	**48**	**52**	**-21**		**1**	**20**	**8.2**	**40.8**
PEG	3000	Solid	52	52						
PEG	4000	Solid	53	58	-17	1.212	2.5	10		
PEG	6000	Solid	55	60						
PEG	10000	Solid	55	60			19.2			

Table 1. Physical properties of PEGs and water. *The diffusion properties (Relative Impregnation Time and Penetration in Oak) are valuated relative to PEG 2000. Data from Clariant, 1998, Jensen, 1995, 1996b, Mortensen, Glastrup, Egsgaard et al. 2006, Jensen, Jensen and Strætkvern 2013).

The criteria and how PEG 2000 performs are as follows:

The impregnation agent must:

a. be water soluble and non-toxic. This enables the impregnation in large tanks and that waterlogged artefacts can be directly immersed in the impregnation solution after cleaning and documentation. All liquid PEGs are easily dissolved in water. PEG 1500 and up to 4000, take longer time to dissolve in water at room temperature. As the concentration and molecular mass increases, heating and circulation of the bath becomes necessary.

b. have good penetration, anti-shrinkage, and bulking properties. The impregnation agent must be able to penetrate the wood to replace lost wood mass and (preferably) the bound water in the cell wall. PEG 2000 penetrates the wood better and faster than PEG 4000. The relative impregnation time of PEG 4000 is more than double the time of PEG 2000 (Table

1). As PEG 2000 penetrates deeper into the material, it will perform better as a stabilizing and bulking agent inside the wood, replacing some of the material that has been lost through degradation, and bind to the hydrophilic end groups in the degraded cells, thus preventing shrinkage upon drying (Jensen, 1996b).

c. have good freezing properties. A precondition for sublimation to take place, is that the substance inside the wood is completely frozen and solid at a definite temperature, the eutectic temperature. Another property is the agent's ability to function as a cryo-protector; to reduce the expansion of ice crystals in the substance during the freezing process. PEG 2000 and PEG 4000 both performs well and become solid at –21°C and –17°C, respectively (Table 1). The low molecular mass PEG 200 and PEG 400 require very low temperatures to solidify, -66°C and -58°C, respectively (Table 1). In practice, the very low temperatures are difficult to achieve when vacuum freeze-drying the impregnated archaeological artefacts.

During the conservation process, the impregnation agent must

d. be easy to manage and control. Monitoring and increasing the concentration of the solution during the process don't have to rely on expensive equipment or complex procedures. Once the dimensions of the wood, the wood species and degree of degradation is known, it is possible to calculate the impregnation time for the specific water-soluble impregnation agent (Jensen, 1996a). During the impregnation process, the concentration of agent in the solution must be monitored and increased. If the pre-treatment is carried out with high molecular mass PEG only, the concentration of PEG in the impregnation bath can easily be estimated by drying the solution and calculate the dry mass vs the mass of the solution. A refractometer monitoring the refractive index of the solution can also provide information about the concentration. If low molecular mass PEG has been added to the bath, these methods cannot distinguish between the different grades of PEG, and more sophisticated methods (i.e., chromatography) are required.

e. allow modelling or shaping of the wood at some point during the conservation proces. After vacuum freeze-drying, wood impregnated with high molecular mass PEG is stiff and inflexible. Flexibility at some point during the conservation process is a not a requirement, but is an advantage when the wood has been bent out of shape or deformed during burial. If the original shape of a deformed piece of wood is known or reconstructed, waterlogged PEG impregnated wood can be bent or modelled, and fixed in shape while still flexible, immediately prior to freezing. If properly fixed, the reconstructed shape stays after drying (Strætkvern, Petersen, Pokupcic *et al*., 2013; Strætkvern and Gøthche 2017). Any reconstruction of the wood prior to vacuum freeze-drying must happen in dialogue with the responsible archaeologist or owner of the artefacts. Small artefacts from the Nydam site (figure 4) and planks and timbers from the Roskilde 6 Viking ship (Figure 5) were shaped prior to vacuum-freeze drying. This allowed the assembly of broken pieces into complete artefacts (i.e., bowls and boxes from Nydam) and reconstructing the original ship shape of planks and frame pieces, enabling mounting and assembly of the Roskilde 6 Viking ship.

Post conservation, the treated artefacts must be stable to store or exhibit at room temperature. This implies that the impregnation agent must:

f. be solid at room temperature (18°- 25°C). If the agent is liquid at room temperature (such as PEG 200, 400 or glycerol), it will remain liquid inside the wood after vacuum freeze-drying (or any drying). The higher the concentration of liquid impregnation agent inside the wood, the higher is the risk that it will eventually sink to the bottom/downside part of the artefact, and lead to a humid/ dark/sticky surface. PEG 2000 and PEG 4000 remain solid up to 48°C and 53°C, respectively (Table 1).

g. be stable at a wide Relative Humidity (RH) range. Part of the post conservation stability requirement is, that the moisture uptake in the wood is not increased by the impregnation

agent. The moisture uptake of a selection of PEGs is shown in Figure 3. The pure PEG 2000 and 4000 demonstrate the best results; PEG 2000 is stable up to RH 80%, PEG 4000 is stable up to RH 85%.

h. not function as a medium for moving ions. This parameter relates closely to point f above; Research carried out by Jensen, Helms and Christiansen (2010) showed that water sorbed in PEG 200 to PEG 600, glycerol and sorbitol increased the conductance in the wood, even at an RH below 50%, indicating that a normal museum climate might not be sufficient to hinder chemical and transport processes, and that ions are dissociated and highly mobile in the water sorbed by PEG, even at water contents below 10% w/w. As waterlogged archaeological wood frequently contains ions (i.e., iron corrosion products and salts), the presence of low molecular mass PEG (or similar) inside the wood represents a source of chemical instability of the conserved material.

i. be durable /have well known long-term properties. In Denmark, the studies of the long-term properties of PEG have mainly been carried out on the PEG 4000 conserved Skuldelev ships. (Mortensen 2009, Mortensen, Glastrup, Egsgaard *et al.*, 2006; Glastrup 1996; Internal Report 2021). The high molecular mass PEGs remain stable if not exposed to direct light and heat radiation. The above-mentioned properties of low molecular mass PEGs (point g) must also be considered in the evaluation of long-term stability of the impregnation agents. As presented by Hocker (2018), complex degradation patterns, i.e., as encountered in the Vasa ship, may appear when PEGs are applied to wood contaminated by sulphur developing bacteria, iron and/or other metals and their corrosion products.

j. allow re-treatment, or to some extent be reversible. In Denmark, using 'reversible' materials in conservation has long been a guiding principle. Over the years, the term 'reversibility' has been modified to re-treatability – acknowledging that a conservation treatment cannot be completely reversed. It is possible to dilute and remove PEG from vacuum freeze-dried wood (i.e., to carry out specific analyses). Re-treatment or re-conservation will always affect the material and should only be carried out when the survival of the object is threatened, or it is impossible to carry out research or interpret the artefact without removing the impregnation agent.

k. produce aesthetic wood surfaces. When waterlogged archaeological wood is conserved, the appearance of the conserved objects should be as natural and respectful to the artefact as possible. Remains of paint or original surface treatments, toolmarks, carvings and other traces of usage, adds to the understanding of the artefact. Applying PEG 2000 for pre-treatment followed by vacuum freeze-drying on the finds from Nydam and on the Roskilde 6 Viking ship produced very satisfactory results in this respect as seen in the figures 4 and 5 showing a few of the Nydam artefacts and the Roskilde 6 ship.

l. enable gluing and repairs. Archaeological wood often requires gluing of fragments and broken parts. Hot melt acrylic glues adhere to PEG impregnated wood surfaces and is useful for connecting larger fractures. Paraloid B72 can be applied to small fractures of PEG impregnated wood.

It should be noted that PEG 4000 performs very well with respect to the above-mentioned criteria. The main reason for not using this agent as a standard impregnation agent, is the limited penetration in less degraded wood and a longer diffusion time (Table 2). With respect to eutectic temperature and uptake of water PEG 4000 is superior to PEG 2000.

When conducting the method at the National Museum, the procedure usually goes by the following steps, however modifications of this approach will occur:

Impregnation starts at around 10% w/w PEG 2000 in water. The concentration is increased stepwise to 40% w/w PEG 2000 in water according to wood species, the dimensions of the wood

and the estimated degree of degradation. The impregnation time can span from 4 to 5 months up to years (i.e., for large oak timbers). In cases when the PEG solution and the wood surface is discoloured by tannins from the oak during the impregnation process, the wood surfaces are rinsed in hot water and the wood retreated with clean solutions of 40% w/w PEG 2000 (or the end concentration of the impregnation solution). If required, it is possible at this stage to give the objects a shape that enables fragments to be joined and/ or three-dimensional mounting after drying.

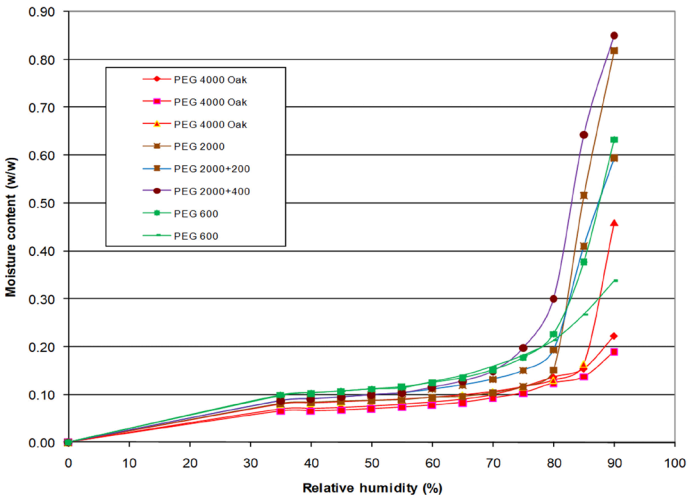


Figure 3. Moisture uptake in PEG conserved wood. Data: Jensen, Helms and Christiansen 2010.

The vacuum-freeze drying process takes place at temperatures between -25 and -22°C, the pressure is 0.15 mbar. The process is controlled by monitoring the ice trapped in the condensers, the atmospheric pressure in the chamber, the weight of wood samples in the process, and the temperature inside selected objects in the process. Depending on the dimensions of the wood and the degree of degradation, the duration of the process is three to five months.



Figure 4. PEG 2000 impregnated and vacuum freeze-dried artefacts from the Nydam site. Deform pieces from the bowls and boxes were shaped prior to freezing to enable joining parts into complete artefacts after vacuum freeze-drying. Photo: The National Museum of Denmark.

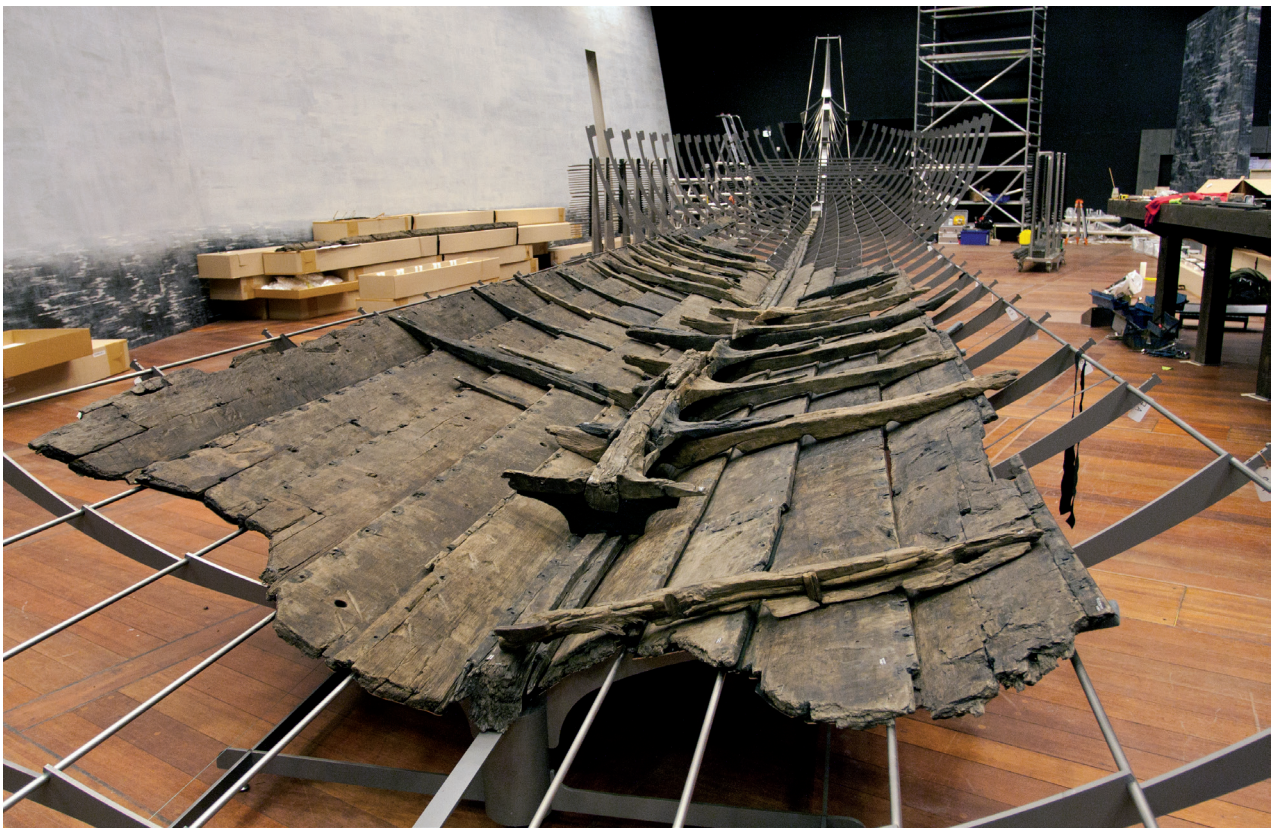


Figure 5. The Roskilde ship Viking ship being mounted for exhibition. Photo: The National Museum of Denmark.

Concluding remarks

The vacuum freeze-drying method after pre-treatment with PEG 2000 as described above, has demonstrated good and stable conservation results for several decades in the National Museum of Denmark. Conducting the conservation processes according to the physical and chemical properties of the materials and the capacity of the equipment, are central parameters to the successful conservation result. The downsides of this conservation process are, that vacuum freeze-drying requires a lot of energy, moreover, we have not yet found a satisfactory way to rinse and reuse the PEG solutions. More sustainable solutions to these aspects need to be investigated and implemented to remain a relevant method for conservation of waterlogged archaeological wood in the future.

References

Ambrose, W. R. (1976). Sublimation Drying of Degraded Wet Wood. *Pacific Northwest Wet Site Wood Conservation Conference. Nea Bay, Washington*.

Andersen, L. M. (1993). *Frysetørring af arkæologisk træ*. Det Kongelige Danske Kunstakademi.

Björdal, C., Łucejko, J. J.*, Modugno, F.and Pedersen, N. B. (2021). Correlation between bacterial decay and chemical changes in waterlogged archaeological wood analysed by light microscopy and Py-GC/MS. *Holzforschung*, 75(7), 635-645.

Bojesen-Koefoed, I., Jensen, P.*, Meyer, I.and Strætkvern, K. (1994a). Freeze-drying from water. In P. Hoffmann *et al.* (Eds.), *Proceedings of the 5th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Portland/Maine, 1993* (pp. 253-285). Bremerhaven.

Bojesen-Koefoed, I., Jensen, P.*, Meyer, I.and Strætkvern, K. (1994b). The Cellusolve - Petroleum Method. In P. Hoffmann *et al.* (Eds.), *Proceedings of the 5th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Portland/Maine, 1993* (pp. 523-532). Bremerhaven.

Bojesen-Koefoed, I., Helms, A. C., Jensen, P., Jensen, J. B., Petersen, A. H.and Strætkvern, K. (1998). Compression strength of frozen and freeze-dried aqueous PEG solutions. In Bonnot-Dicone *et al.* (Eds.), *Proceedings of the 7th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Grenoble, ARC-Nucléart, ARC-Nucleart, Grenoble* (pp. 110-115). France.

Brorson-Christensen, B. (1970). *The Conservation of Waterlogged Wood in the National Museum of Denmark*. The National Museum of Denmark, Copenhagen.

Clariant (1998). *Polyethylenglycole. Produkt-Information. Eigenschaften und Anwendungsgebiete*. Clariant Gmbh. Werk Gendorf. Division Surfactants. Research and Development.

Cook, C.and Grattan, D. (1990). *A method of calculating the Concentration of PEG for freeze-drying waterlogged wood*. In P. Hoffmann (Ed.), *Proceedings of the 4th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference* (pp. 239-252). Bremerhafen: Ditzen Druck und Verlags-GmbH.

Glastrup, J. (1996). Degradation of polyethylene glycol. A study of the reaction mechanism in a model molecule: Tetraethylene glycol. *Polymer degradation and stability,* 52, 217-222.

Gregory, D., Jensen, P*., Matthiesen, H.and Strætkvern, K. (2007). The correlation between bulk density and shock resistance of waterlogged archaeological wood using the Pilodyn. *Studies in Conservation,* 52, 289-298.

Gregory, D.*, Jensen, P.and Strætkvern, K. (2012). Conservation and in situ preservation of wooden shipwrecks from marine environments. *Journal of Cultural Heritage,* 13, 3, 139-148.

Gøthche, M. (2006). *The Roskilde Ships*. In L. Blue, F. Hocker and A. Englert (Eds.), *Connected to the Sea. Proceedings of the Tenth International Symposium on Boat and Ship Archaeology Roskilde* (pp. 252-258). ISBSA Roskilde.

High, K. E.and Penkman, K. E. H. (2019). Analytical Methods for Assessing Preservation in Waterlogged Archaeological Wood: Their importance for site management decisions. *Historic England, Research Report Series,* 42/2019 (Online).

Hocker, E. (2018). *Preserving Vasa*. Archetype Publications Ltd. London, in association with the Vasa Museum, Stockholm.

Hoffmann, P. (2009). On the efficiency of stabilisation methods for large waterlogged wooden objects, and on how to choose a method. In H. Huismann and K. Strætkvern (Eds.), *Proceedings of the 10th ICOM-CC working group Wet Organic Archaeological materials Conference 2007* (pp. 323-349). Amsterdam.

Hoffmann, P. (2013). *Conservation of Archaeological Ships and Boats*. London.

Hutchings, J.and Spriggs, J. (2004): The Poole Logboat: A Treatment Update, and Investigation into a suitable Drying Regime for Large-Scale Sucrose Impregnated Waterlogged wood. In *Proceedings of the 9th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Copenhagen* (pp. 333-353). Müller Dietzen Druckerei AG, Bremerhaven.

Internal Report (2021). *Temperatur- og lysforhold i Skibshallen på Vikingeskibsmuseet*. Nationalmuseet and Institut for Konservering.

Jensen, E. L., Salomonsen, E.and Strætkvern, K. (1996). From a waterlogged site to the archaeologist´s desk - new packing methods with a minimum of handling. In Ashok Roy and Perry Smith (Eds.), *Preprints of the Contributions to the Copenhagen Congress, 26-30 August 1996, Archaeological Conservation and its consequences* (pp. 89-93). London.

Jensen, J. B.*, Jensen, P.and K. Strætkvern (2013). Freeze-drying at Atmospheric Pressure. In *Proceedings of the 12th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Istanbul.*

Jensen, P. (1995). *Diffusion in waterlogged organic materials. Computer models*. PhD-thesis, Kgl. Veterinær og Landbohøjskole, Copenhagen.

Jensen, P. (1996a). *Diffusion in Waterlogged Wood. Computer Models*. In P. Hoffmann *et al*. (Eds.), *Proceedings of the 6th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference York* (pp. 435-450). Ditzen Druck und Verlags-GmbH, Bremerhaven.

Jensen, P. (1996b). Sorption of water and watersoluble agents in the waterlogged wooden cell wall. In P. Hoffmann *et al*. (Eds.), *Proceedings of the 6th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, York* (pp. 339-397). Ditzen Druck und Verlags-GmbH, Bremerhaven.

Jensen, P.and Gregory, D. J. (2006). Selected physical parameters to characterize the state of preservation of waterlogged archaeological wood: a practical guide for their determination, *J. Archaeol. Sci.,* 33, 551–559.

Jensen, P.and Jensen, J. B. (2006). Dynamic model for vacuum freeze-drying of waterlogged archaeological wooden artefacts. *Journal of Cultural Heritage,* 17, 7, 156-165.

Jensen, P.and Schnell, U. (2004). The implication of using low molecular mass PEG for impregnation of archaeological wood prior to freeze drying. In P. Hoffmann *et al*. (Eds.), *Proceedings of the 9th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Copenhagen* (pp. 279-308). Müller Dietzen Druckerei AG, Bremerhaven.

Jensen, P., Helms, A. C.and Christiansen, M. (2010). Evaluating long-term stability of waterlogged archaeological wooden objects through determination of moisture sorption isotherms and conductance in conserved objects and impregnation agents. In *Proceedings of the 11 ICOM-CC working group Wet Organic Archaeological Materials Conference 2010, Greenville, USA*.

Jensen, P., Petersen, A. H.and Strætkvern, K. (2002). Conservation. In Ole Crumlin-Pedersen and Olaf Olsen (Eds.), *The Skuldelev Ships I* (pp. 70-81). Roskilde.

Jensen, P.*, Schnell, U., Jensen, J. B.and Strætkvern*, K. (2009). Technical specifications for equipment for vacuum freeze-drying of PEG impregnated waterlogged in organic materials. In H. Huismann and K. Strætkvern (Eds.), *Proceedings of the 10th ICOM-CC working group Wet Organic Archaeological materials Conference 2007. Amsterdam.*

Matthiesen, H.*, Strætkvern, K., Gregory, D.and Jensen, P. (2020). Excavating Nydam. Archaeology, Paleoecology and Preservation. In S. Holst and P. O. Nielsen (Eds.), *The National Museum's research project 1989-99* (pp. 345-371). Syddansk Universitetsforlag Bind 33. Odense.

Mikolaychuk, E. (1997). Some Physical Properties for Archaeological Woods from Novgorod. In P. Hoffmann, T. Daley,T. Grant and J. A. Spriggs (Eds.), *Proceedings of the 6th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference York 1996*. ICOM Committee for Conservation.

Mortensen, M. N. (2009). *Stabilization of polyethylene glycol in archaeological wood*. Kgs. Lyngby, Technical University of Denmark.

Mortensen, M. N., Glastrup, J., Egsgaard, H., Hvilsted,S.and Shashoua, Y. (2006). Characterisation of the polyethylene glycol impregnation of the Swedish warship Vasa and one of the Danish Skuldelev Viking ships. *Journal of Archaeological Science,* 34, 2007, 1211-1218.

Pedersen, N. B. (2015). *Microscopic and spectroscopic characterisation of waterlogged archaeological softwood from anoxic environments*. Frederiksberg: Department of Geosciences and Natural Resource Management, Faculty of Science, University of Copenhagen (IGN Rapport).

Strætkvern, K. (2001). Freezing of polyethylene glycol - compression strengths and freezing curves for high molecular mass PEGs with and without low- molecular PEGs added. In P. Hoffmann *et al*. (Eds.), *Proceedings of the 8th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Stockholm 2001* (pp. 335-350). Druckerei Ditzen GmbH und Co.

Strætkvern, K.*and Gøthche, M. (2017). Roskilde 6 - Reconstructing the longest warship find of the Viking Age. In Benno van Tilburg (Ed.), *Proceedings of the Thirteenth International Symposium on Boat and Ship Archaeology Amsterdam 2012*.

Strætkvern, K.*, Petersen, A. H., Pokupcic, N., Bojesen-Koefoed, I., Moesgaard, A.and Jensen, J. B. (2013). If only..! Experiences from the conservation of the World's longest Viking Age shipwreck for exhibition and travel. In *Proceedings of the 12th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Istanbul 2013.*

Wittköpper, M. (2013). The Kauramin Method. In P. Hoffmann (Ed.), *Conservation of Archaeological Ships and Boats* (pp. 96-103). Archetype Pub.

Wittköpper, M, S. Brather, W. Muskalla, A.and Le Boedec (2013). The KUR Project, a comparison of different methods to preserve waterlogged wood. In *12th WOAM Conference (Istanbul 2013)* (pp. 134-143).


GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
DE CULTURA