

Bienes Arqueológicos //

El proceso de conservación, restauración y musealización del *Barceloneta I* (MUHBA).

La fase final de tratamiento del barco medieval *Barceloneta I* se ha hecho en el *Museu d'Història de Barcelona* (MUHBA) y ha consistido en la estabilización y limpieza final (raspado de compuestos metálicos y eliminación de exceso de PEG), la medida del magnetismo y del pH de la madera, el montaje e instalación encima un apoyo y la presentación en exposición permanente dentro de una vitrina climatizada y monitorizada. Actualmente, sigue en estudio y control para garantizar su conservación a largo plazo.

Lídia Font i Pagès. Conservadora-restauradora de bienes culturales. Licenciada en Bellas artes (UB) y Máster en Degradación y conservación de materiales pétreos en monumentos y edificios (UB-UAB). Ninguno del Área de conservación preventiva y restauración del *Museu d'Història de Barcelona* (MUHBA).

lfont@bcn.cat

Código ORCID: 0000-0001-5899-4480

Palabras Clave: *Barceloneta I*, pecio, magnetismo, pH, acidificación, musealización.

Fecha de recepción: 26-I-2023 > **Fecha de aceptación:** 2-II-2023

EL PROCESO DE CONSERVACIÓN, RESTAURACIÓN Y MUSEALIZACIÓN DEL *BARCELONETA I* (MUHBA)

El tiempo que ha transcurrido desde el descubrimiento –el viernes 9 de mayo del 2008– del pecio *Barceloneta I* al yacimiento del Baluarte del Mediodía (Barcelona) hasta la inauguración de su exposición –el 26 de mayo de 2021– en el *Museu d'Història de Barcelona* en la antecámara del Tinell ha sido largo, en total trece años.

Teniendo en cuenta que se trata de los restos de un barco y, hablando en términos náuticos, podríamos referirnos en este artículo a su singladura: el camino que recorre un barco en una jornada de navegación. Pero el camino ha sido tan largo, ha visitado tantos puertos y ha tenido tantas tripulaciones diferentes que realmente más que de una singladura tendremos que hablar de un periplo: un largo viaje de ida y vuelta.

Durante estos trece años ha habido muchas instituciones implicadas en el proceso, con sus profesionales. Desde un inicio: el *Servei d'Arqueologia de Barcelona*-MHCB, el *Servei d'Arqueologia de la Generalitat de Catalunya*, el *Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya* (CASC) y el *Museu Marítim de Barcelona* (MMB); y posteriormente el *Museu d'Història de Barcelona* (MUHBA) que toma el relevo en su tutela, conservación-restauración y exhibición con la colaboración del *Cercle del MUHBA* y el *Port de Barcelona*.¹

El proceso se puede dividir en cinco etapas y emplazamientos diferentes:

1. Yacimiento arqueológico del Baluarte del Mediodía (Barcelona). Excavación preventiva donde aparece el pecio bautizado como *Barceloneta I*.²



2. *Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya*-CASC (Girona). Se trasladan las piezas de madera al CASC para realizar el tratamiento de conservación.

3. *Museu Marítim de Barcelona*. Acabado el tratamiento de conservación, y casi el de estabilización, se trasla-

¹ El equipo técnico de conservación y restauración anterior al ingreso del barco en el MUHBA lo formaron: Cati Aguer (colaboradora del CASC), Montserrat Pugès (*Servei d'Arqueologia de Barcelona*), Kusi Colonna-Preti (colaboradora del *Servei d'Arqueologia de Barcelona*), M. Teresa Sala, Cristina Latorre y Carme Vázquez (MMB), Maria Molinas, Silvia Llobet, Lluïsa Matas, Irene Garcia y Esther Horno (Àbac Conservació i Restauració). El equipo de conservación-restauración en el MUHBA ha estado formado por: Lídia Font, Anna Lázaro y Carla Puerto (MUHBA), Julieta Cash (estudiante en prácticas en el MUHBA), Maria Molinas, Mar Valiente, Irene Garcia, Núria Deu, Lorena Andino, Gemma Torra y Laia Abelló (Àbac Conservació i Restauració, SL).

² La excavación fue dirigida por Mikel Soberón (Codex). En el registro y desmontaje del fragmento de casco participaron Xavier Nieto, Gustau Vivar (CASC) con el asesoramiento del arqueólogo naval Marcel Pujol, y las conservadoras-restauradoras de Àbac Conservació i Restauració, SL con la supervisión de Montserrat Pugès del *Servei d'Arqueologia de Barcelona*.

³ AGUER, C. *Memòria del procés d'assecatge i/o estabilització de les fustes amara des d'aigua del vaixel·l i pou de la Barceloneta*. *Codi intervenció: 096/06 (desembre 2014/ novembre 2015)*. Girona: Documento inédito, 2015.

⁴ Durante este proceso se hicieron los correspondientes controles regulares de peso y dimensiones de las piezas.

⁵ El equipo estaba formado por los conservadores-restauradores citados al principio junto con: Núria Miró, Ramon Pujades y Emili Revilla (conservadores del MUHBA); Mikel Soberón, Marcel Pujol y Bruno Parés (arqueólogos); personal de la empresa Tti (por el apoyo en la manipulación de cuadernas); Màrius Roig y Anna Bullich (Equiro Equipament SL, por el diseño del soporte) y Adelina Casanova (Udeu, diseñadora de la vitrina).

⁶ El *Servei d'Arqueologia de la Generalitat* custodia el archivo de la documentación de las excavaciones y en el *Arxiu Arqueològic* del MUHBA se ha archivado una copia.

⁷ Esta tarea se encomendó al arqueólogo Bruno Parés en colaboración con Marcel Pujol.

dan los restos al MMB, donde continuará el proceso de estabilización.

4. Laboratorio del *Centre de Col·leccions del Museu d'Història de Barcelona* en la Zona Franca (Barcelona). Sigue el proceso de estabilización, se hace la última limpieza y se inicia el estudio para su museografía y conservación a largo plazo.

5. *Museu d'Història de Barcelona*-Plaça del Rei. Se trasladan las piezas a la antecámara del Tinell (MUHBA) donde se monta la estructura del casco sobre un soporte y se protege dentro de una vitrina climatizada.

Dado que las primeras fases (excavación del pecio y tratamiento de conservación en el CASC) ya han sido explicadas en los textos previos, nos centraremos en explicar las últimas fases, desde su llegada al *Museu Marítim de Barcelona* el mes de marzo de 2015 hasta su recepción en el MUHBA a finales de octubre de 2016, donde se realizan las fases de estabilización, estudio, restauración, montaje y presentación pública a partir del 2021. ¹ [pág.38]

En la **TABLA 1** se hace la comparativa del proceso de conservación y restauración de los dos pecios que se presentan en esta publicación: *Les Sorres X* y *el Barceloneta I*.

MUSEU MARÍTIM DE BARCELONA

El proceso de estabilización que se desarrolló en el *Museu Marítim* se programó para hacerlo a lo largo de un año. Al inicio de este tratamiento la madera conservaba todavía el 23% de agua en su interior y tenía que perder una parte de esta. ³ El secado se hizo dentro de una cámara donde se regulaban la humedad relativa (HR) y la temperatura ambientales con la consigna de mantener la temperatura a 20 °C y bajar gradualmente la HR desde el 90% inicial hasta llegar al 58%. Los parámetros termohigrométricos se midieron con varios *dataloggers* y la humedad relativa deseada se conseguía con varios humidificadores de ultrasonidos flotantes, que nebulizaban agua osmotizada contenida dentro de varios recipientes plásticos y estaban regulados con un temporizador. A medida que pasaban los días se programaron para funcionar menos horas diarias hasta que dejaron de ser necesarios y se desconectaron. ⁴ La humedad relativa a partir de aquel momento se aconsejaba que se mantuviera entre el 55-60% y la temperatura entre 18 y 20 °C. ² [pág.39]

MUHBA, CENTRE DE COL·LECCIONS

Las dos últimas fases del proceso, llevadas a cabo por parte del MUHBA en el laboratorio del *Centre de Col·leccions* y en la antecámara del Tinell, han sido probablemente en las que más se ha innovado, se ha experimentado y se han aplica-

do las nuevas tecnologías y el *know-how* de un gran equipo técnico pluridisciplinar. ⁵ El MUHBA ha actuado en aspectos decisivos de la conservación de la estructura del casco del pecio y su museografía: la estabilización y estudio de las alteraciones, el ensamblaje de las piezas del casco, el diseño y construcción del soporte y de la vitrina donde se exhibe, así como del sistema de control ambiental.

LA ESTRATEGIA

El tratamiento en el *Centre de Col·leccions* del MUHBA de las piezas procedentes del *Museu Marítim* requirió la construcción de una nueva cámara de estabilización para mantener la humedad relativa preestablecida. ³ [pág.40] A partir de este momento se preparó la estrategia de trabajo con todo el equipo. En este contexto se marcó el objetivo final de presentar los restos del barco en exposición permanente acompañadas de una maqueta a escala, con la cual se pudiese comparar y localizar el lugar exacto que ocuparía el fragmento. También se decidió exponerlo en la posición que mantenía cuando el barco estaba entero y operativo por razones que se expondrán más adelante.

Para el buen desarrollo del proyecto era conveniente que todos los miembros del equipo conocieran las particularidades básicas del sistema constructivo de esta tipología de embarcaciones que les permitiera aportar las mejores soluciones y, a tal efecto, se compartieron artículos y esquemas constructivos de esta tipología de casco. ⁴ [pág.40]

LA DOCUMENTACIÓN: PROCEDIMIENTO Y ARCHIVO

El ingreso del *Barceloneta I* en la colección del museo (MHC B-42412) fue acompañada de la entrega de toda la documentación recopilada hasta aquel momento por el *Servei d'Arqueologia de Barcelona* que incluye: la documentación de la excavación, las memorias de restauración, así como los informes de los análisis físico-químicos y los artículos publicados, además de la correspondiente documentación gráfica y fotográfica. Así pues, el museo, con la recepción del fragmento de casco, se convirtió en el repositorio de la documentación y, a partir de entonces, adquiría el deber de asegurar su tutela, incrementarla y tenerla a disposición y abierta a consulta como se hace con todos los otros objetos de la colección. ⁶

En relación la creación de documentación nueva, un aspecto que tuvo una importancia vital, por diferentes motivos, fue la realización por encargo del museo de una cobertura fotográfica o fotogrametría de miles de tomas para obtener un modelo 3D de cada una de las cerca de 80 piezas que componen el casco. ⁷ Las dimensiones, peso (una cuaderna impregnada con PEG pesa alrededor de 75 Kg) y estado de conservación de las tablas y de las cuadernas dificultaban

TABLA 1

EXCAVACIÓN	DESALADO	IMPREGNACIÓN PEG	ESTABILIZACIÓN
Les Sorres X Noviembre – Diciembre 1990: 2 meses	Febrero – Diciembre 1991: 10 meses	Diciembre 1991 – Junio 1993: 20 meses	Junio – Octubre 1993: 3 meses
Barceloneta I Mayo 2008: 1 mes	Febrero 2009 – Noviembre 2011: 33 meses	Diciembre 2011 – Diciembre 2014: 36 meses	Diciembre 2014 – Noviembre 2016: 24 meses

su manipulación;⁸ por este motivo, gracias al modelo, se pudieron estudiar al por menor las diferentes piezas de madera a partir de la pantalla de ordenador y sirvió, también, para hacer un montaje virtual de todo el conjunto de la estructura del casco. Esto no solo fue útil para los conservadores-restauradores, sino también para el estudio del barco y para la realización del modelo a escala 1/20;⁹ y, finalmente, también sirvió para diseñar la estructura de soporte que se haría para su presentación en el museo.

A partir de la fotogrametría se obtuvieron, así mismo, los planos de despiece donde cada pieza se representaba con las vistas (ortofotografía) de las cuatro caras. Esta representación gráfica permitió recoger todos los datos obtenidos en la exploración exhaustiva en el correspondiente mapa o cartografía de alteraciones.⁵ [pág.41]

ESTADO DE CONSERVACIÓN

En el medio subacuático, los dos materiales de que está hecho el buque se habían conservado de manera muy diferente. El hierro de los clavos de fijación se había transformado en productos de corrosión (carbonatos y sulfuros) que formaban una masa voluminosa y muy sólida de una mezcla de compuestos de hierro, sedimento arcilloso, arena y moluscos marinos en el interior de la cual se había conservado el volumen prácticamente vacío del clavo. Estos elementos metálicos se eliminaron preventivamente a la excavación a fin y efecto de evitar las posibles interacciones con la resina polietilenglicol PEG durante el tratamiento.⁶ [pág.41] A pesar de todo, una parte de los productos generados por la oxidación y la corrosión de los clavos había penetrado dentro de la madera siendo su presencia tan elevada que acercando un imán este se adhería a la madera.¹⁰ La fuerte respuesta magnética se podía atribuir a la presencia de compuestos minerales magnéticos del hierro como por ejemplo la magnetita (Fe_3O_4) o la greigita (Fe_3S_4). La primera se produce en un medio ligeramente oxidando y la segunda está asociada a un proceso de corrosión influenciado por la actividad de las bacterias anaerobias que generan sulfuro (bacterias sulforeductoras). En un primer estadio se forma mackinawita (FeS) que se puede transformar, según las condiciones ambientales, en un sulfuro todavía más rico en azufre, la greigita (Fe_3S_4), que a su vez puede dar a otros compuestos sulfurados muy perjudiciales como por ejemplo la pirita (FeS_2) y susceptibles de provocar acidificación de la madera.¹¹ La pirita a diferencia de los otros compuestos no presenta magnetismo.

A la vista de estos indicios observábamos que las piezas de madera de roble y algunas reparaciones hechas con madera de pino, tenían niveles diferenciados de dureza y alteración, pero en general mantenían consistencia, volumen y forma gracias al tratamiento de consolidación con PEG. No obstante, a causa de los compuestos de hierro mencionados y el riesgo que pudieran evolucionar hacia formas ácidas se consideró necesario analizarlas más cuidadosamente. Así, se midió la intensidad y extensión del magnetismo y se midió también el pH (las cuadernas Q3 y Q10 y la mesa T5 se tomaron como referentes).⁷ [pág.42]

El mapa que recoge el grado de atracción a la acercar un imán de neodimio (0 = respuesta nula, 1 = baja, 2 = media, 3 = alta) revela que las tablas del forro, en particular la cara interna donde se sitúan los remaches, da una respuesta más intensa y extensa, mientras que a las cuadernas los residuos magnéticos se localizan en la cara que está en contacto con

el forro y también entorno los puntos de unión entre las piezas que configuran una misma cuaderna (entre la varenga y el genol) que son uniones reforzadas con clavos y, por lo tanto, con mayor presencia de hierro.⁸ [pág.42]

La medida de la acidez se hizo según el protocolo empleado en el laboratorio Nucléart de Grenoble.¹² En primer lugar, se exploró la superficie de todos los elementos mirando de detectar zonas con concreciones blanquecinas pulverulentas, especialmente aquellas que desprenden un olor desagradable que se puede relacionar con la presencia de azufre.⁹ [pág.43] En estas zonas, después de medir el magnetismo, se extrajo un pequeño pedazo de concreción mineral o de madera que se impregnaba por un instante en agua destilada y pasados unos 30 segundos se medía el pH con una tira indicadora de papel. A continuación, se limpiaba a fondo la superficie de la madera y se extraía una segunda muestra acompañada de una nueva medida de respuesta al imán. Los resultados se cartografiaron y de su evaluación se concluye que el pH más ácido no coincide exactamente con la ubicación del clavo de hierro, sino que hay cierto desplazamiento de los compuestos hacia las zonas de su entorno. La mayoría de medidas cercan el pH 5-5,5. No obstante, hay valores muy localizados más ácidos en los extremos de la cuaderna Q3 con un pH entre 2 y 3 y a la cuaderna Q10 con pH entre 3 y 4,5. Estas son las zonas de unión entre los genoles donde se habían utilizados clavos de refuerzo suplementarios. Así mismo, hay resultados de pH entre 3 y 4,5 a la T5 en zonas donde se han hecho varias reparaciones del buque con uso abundante de clavos que explicarían los resultados obtenidos y ayudan a localizar las zonas más susceptibles de acidificación.¹⁰ [pág.43] y ¹¹ [pág.44]

Paralelamente, se extrajeron dos muestras de madera correspondientes a los extremos de las cuadernas Q1 y Q2 que fueron analizadas en el laboratorio con un medidor de pH digital con el resultado de 3,94 y 4,81, respectivamente, mientras los análisis SEM-EDX detectaron la presencia de pirita en ambas muestras.¹³

La valoración correcta de los resultados obtenidos hasta la fecha está todavía en fase de estudio dado que requiere analizar las condiciones que ofrecía la madera en origen, caracterizar el estado actual, poner los resultados en concordancia con el ambiente y el sedimento marino donde se ha conservado durante todos estos siglos, así como con los productos presentes y las condiciones ambientales posteriores a la excavación. En consecuencia, para intentar recomponer y analizar el proceso de alteración y prever su evolución futura en el tiempo se tendrán que seguir estudiando aspectos muy diversos. Para empezar, y dado que la madera de roble tiene un grado de acidez natural habrá que concretar qué era. También conocer qué puede haber sido el papel y la acción de la brea (sustancia viscosa que se obtiene por la destilación del alquitrán vegetal de algunas coníferas) y el musgo empleadas en el calafateado que han impermeabilizado la superficie externa. Después, se tendrán que valorar factores producidos durante la vida útil de la embarcación.

En relación a la etapa de permanencia del buque bajo el agua, ya disponemos de algunos datos relevantes de los estudios hechos hasta ahora que confirman algunas de las hipótesis. El fondo de limos proporcionó una cama que se caracteriza por su plasticidad y ausencia de oxígeno. El barco concretamente se encontró en la zona del puerto donde

⁸ Se colocaron los elementos sobre palés y se iban dando la vuelta a medida que se avanzaba en la fotogrametría. Hecho esto, las piezas se pudieron guardar, reduciendo su manipulación.

⁹ Realizada por Lluís Rovira Carbonell con el asesoramiento de Marcel Pujol.

¹⁰ Se han conservado algunos de los clavos extraídos y están actualmente en fase de estudio.

¹¹ RÉMAZEILLES, C. [et al.]. "Study of Fe (II) sulphides in waterlogged archaeological wood". *Studies in Conservation*. Vol. 58 (2013), p. 297-307. RÉMAZEILLES, C. [et al.]. "L'épave Lyon Saint-Georges 4, un composite grand format". En: GUILMINOT, E.; GENACHTE, A. (org.). *Journée ICOM Metal France 2017*. Aubervilliers (France): ICOM, 2017, p. 12-17.

¹² Se contó con la ayuda y asesoramiento de Xavier Martínez, graduado en Conservación y Restauración de Bienes Culturales, en la especialidad de Bienes Arqueológicos, en la ESCRBCC, quien realizó una estancia Erasmus-prácticas en el laboratorio Nucléart de Grenoble, especializándose en el tratamiento de materiales procedentes de yacimientos arqueológicos subacuáticos. Actualmente es técnico contratado del Laboratorio Nucléart.

¹³ Laboratorio Artelab. Ref 12D_2018. *Estudio de los Materiales presentes en dos micromuestras de madera de roble de un pecio medieval*. Informe inédito. Archivo MUHBA. 2019. Las muestras fueron analizadas con: microscopía óptica con luz polarizada, incidente y transmitida; microscopía electrónica de barrido y microanálisis mediante espectrometría por dispersión de energía de rayos X (SEM-EDX).

¹⁴ SOBERÓN, M. "El port baixmedieval de la ciutat de Barcelona: Una visió des de l'arqueologia. L'escullera de 1457 i la troballa d'un vaixell tinglat". *Quarhis*. Barcelona: (2010), 6, p. 134-163. RIERA, S.; JULIÀ, R. "Usos del sòl i activitats productives a Barcelona a partir de l'anàlisi paleoambiental de la llacuna litoral medieval del Pla de Palau". *Quarhis*. Barcelona: (2010), 6, p. 165-177.

¹⁵ RIERA, S.; JULIÀ, R. "Memòria sobre l'estudi dels sediments lacunars localitzats al solar del Baluard del Migdia". En: *Memòria de la Intervenció 09606 Pla de Palau, Plaça Pau Vila 12-13b; C.D. Aiguadé 1.27 / C de la Marquesa*, 2009, p. 173.

¹⁶ FORS, I.; SANDSTRÖM, M. "Sulfur and iron in shipwrecks cause conservation concerns". *Chemical Society Reviews*. (2006), nº 35, p. 399-415 y p. 402. GARCIA BOULLOSA, L. *Bildumaren kontserbazioa: 10 urte ondarea kontserbatzen. La conservación de la colección. 10 años conservando patrimonio*. Bilbao: Bizkaiko Foru Aldundia - Diputación Foral de Bizkaia, 2020, p. 35.

¹⁷ Los iones hierro también pueden iniciar y catalizar la degradación y oxidación del contenido celulósico.

¹⁸ En este caso se ha usado el fungicida ATN JB 48, un agente biocida sin fenol ni metales pesados de la empresa ATN Difussion, S.A.

había habido una laguna de agua más tranquila protegida por la *Tascha* o barrera de sedimentos procedentes del río Besòs,¹⁴ por lo tanto, una zona en que había ocasionalmente agua dulce. Los resultados de los análisis de muestras de sedimento por difracción de rayos X.¹⁵ detectan las fases minerales mayoritarias siguientes: cuarzo, calcita, ilita y clorita y, ocasionalmente, aparece dolomita, pirita y feldespatos, con menor concentración. Estos resultados nos remiten a un ambiente casi anaerobio apropiado por la conservación de la madera, pero las fases que se detectan, especialmente la pirita, alertan sobre el riesgo de acidificación. A su vez, los sedimentos posteriores que cubrieron el pecio estaban formados por gravas y arenas aportadas por el río Besòs que se relacionan con temporales de agua y debían de causar cierta erosión, ejercer presión y ocasionar deformaciones. Así mismo, el agua de mar sería responsable de la hidrólisis de la madera, alterando los componentes celulósicos de la misma.¹² [pág.46]

Pero ¿cómo explicar la formación y presencia de pirita? En términos generales, en el medio subacuático marino, la baja concentración de oxígeno, la oscuridad, las bajas temperaturas del agua, la protección que proporcionan los sedimentos y la salinidad hace que las bacterias sean los principales agentes de degradación del pecio. Las bacterias sulfato-reductores anteriormente mencionados podían metabolizar la materia orgánica del fondo marino reduciendo los iones sulfato del agua de mar y producir sulfuro de hidrógeno disuelto (H_2S) que se difunde a la madera.¹⁶ Según el estudio de los sedimentos del yacimiento del Baluarte del Mediodía, el buque estaba cubierto por arenas y, por encima de estas, por restos de posidonia que podrían haber aportado la materia orgánica necesaria por este desarrollo; también se tiene que considerar la presencia del musgo y la estopa utilizados por calafatear.

Por otro lado, y siguiendo con los procesos subacuáticos, la oxidación de los clavos produce iones solubles de hierro (FeII) que pueden interactuar con el sulfuro de hidrógeno aportado por las bacterias y generar sulfuros de hierro, entre estos, la pirita (FeS_2), como la que se detectó en el entorno del *Barceloneta I*.¹⁷ Aun así, podrían haber muchos otros que no hayamos identificado todavía, como la mackinawita (FeS) o la greigita (Fe_3S_4), para citar algunos de los más frecuentes.

Una vez fuera del agua, a partir de la excavación y la exposición de la madera a concentraciones de oxígeno superiores a las que se mantenían hasta aquel momento y en caso de humedad relativa elevada, hay riesgo que los sulfuros de hierro se conviertan en ácido sulfúrico y/o eflorescencias salinas que causan daños químicos y mecánicos irreversibles a la madera que explican el riesgo de la acidificación.

El proceso posterior de limpieza y desalado del buque con agua dulce y el tratamiento por impregnación a saturación con PEG 4000 a 55-60 °C de temperatura o la aplicación de biocidas al agua¹⁸ son también factores que habrá que añadir al historial clínico y tener presentes en la evaluación de la evolución de la conservación a largo plazo. El PEG, actúa como catalizador de las reacciones que producen los compuestos de azufre por su afinidad de captar electrones. La formación de los iones Fe (II) induce, así mismo, a la descomposición de las moléculas de PEG, inhibiendo su función de consolidación y suponiendo un peligro para la conservación a largo plazo.

LIMPIEZA

Paralelamente al estudio de los procesos de alteración, la primera tarea correspondiente al tratamiento que se hizo a nuestro museo consistió al retirar el exceso de PEG que había en la superficie, que afloraba a medida que las piezas de madera se estabilizaban. Esta operación convenía hacerla con la mínima aportación de humedad para no reactivar las reacciones anteriormente descritas. La limpieza se hizo tamponando con esponja natural empapada de agua caliente pero muy escurrida y a continuación se absorbían los restos de cera con papel celulósico.¹³ [pág.47]

A continuación, se hizo la limpieza y raspado exhaustivos de posibles compuestos de hierro insistiendo especialmente en la limpieza de los agujeros de los clavos para intentar reducir al máximo las posibilidades de acidificación. De momento, se descartó cualquier acción adicional más drástica como por ejemplo la eliminación de la madera alterada a la espera de poder controlar la evolución de los compuestos a través de sistemas pasivos que se exponen más adelante.

REMONTAJE

El remontaje de las piezas del buque obligaba a replicar el proceso constructivo original. Esto quería decir, montar primero el forro empezando por colocar la tabla más próxima a la quilla y, después, superponer la siguiente uniéndolas entre sí con una hilera de clavos que va de un extremo al otro y seguir con el resto de tablas. Una vez montado el forro, se tenían que encajar las cuadernas en el forro utilizando como elemento de unión las cabillas de madera que atraviesan, de un extremo a otro, tabla y cuaderna.

Para poder hacerlo así, había dos aspectos importantes a resolver. Por un lado, se tenía que montar un buen entramado de elementos de apuntalamiento para soportar y mantener el forro y las pesadas cuadernas a su lugar, tal y como lo hacen los carpinteros de ribera durante el proceso de construcción de un buque. De la otra, había que idear un sistema específico de unión entre cuaderna y forro complementario al de las cabillas originales, dado que a la excavación muchas de estas se tuvieron que cortar a ras para poder desmontar el pecio y son todavía dentro del correspondiente agujero de la cuaderna obturándolo e impidiendo el paso de una cabilla nueva. También se veía difícil que las cabillas conservadas enteras y muy trabadas dentro de la cuaderna, de la que sobresalen unos centímetros, encajaran de nuevo en el correspondiente orificio de la tabla del forro y se temía que más bien supondrían un inconveniente por el buen ensamblaje.

Mientras se resolvían estas cuestiones, se avanzó con el montaje del forro. Antes que nada, con la ayuda de los calcos hechos a la excavación se hizo el planteamiento general de colocación de las tablas. Esto sirvió para comprobar que las alteraciones de medida y forma habían estado mínimas y que los agujeros donde habían existido elementos de fijación –clavos de hierro y cabillas de madera– coincidían. A continuación, sobre las tablas del forro se extendieron cordeles que marcaban la ubicación de cada cuaderna y servían de guía por colocar bien las piezas. A continuación, con la ayuda de palitos de madera largos se comprobaba que los orificios de unión entre las tablas eran abiertos y que los de las dos tablas que se querían acoplar coincidían y se podría hacer pasar un clavo.¹⁴ [pág.47] y ¹⁵ [pág.48]

Hecho esto y verificada también la buena consistencia de la madera de las tablas, se determinó montar el forro con la ayuda de clavos de acero inoxidable de medidas similares a los originales pero con una forma diferente y funcional para que los elementos nuevos fueran claramente identificables.¹⁹ Los clavos diseñados tienen la cabeza formada por un disco plano con una pieza rectangular central que sobresale y facilita la acción de enroscar, porque el nuevo tallo tiene rosca a diferencia de los clavos de forja usados en la construcción original. El remache se hizo ligeramente más pequeño para dejar a la vista la impronta conservada sobre la madera de la pieza original y este se enrosca al clavo de forma que se puede ajustar la presión que ejerce. A fin y efecto de evitar el contacto directo entre el metal y la madera que pueda provocar una interacción química, el tallo se forró con tubo termo-retráctil de poliolefina y en la zona de contacto de la madera con la cabeza o el remache se intercaló una fina lámina de silicona de calidad alimentaria.¹⁶ [pág.48]

Una tarea de restauración necesaria para preparar el remontaje del forro fue la de unir los fragmentos que formaban una tabla para obtener hileras lo más enteras posible. En este caso, en vez de adhesivo se utilizaron varillas muy finas, tanto de fibra de vidrio o poliéster como de fibra de carbono, que se introducían en el canto del fragmento, haciendo previamente un pequeño orificio de poco más de un centímetro de profundidad, y servían para unir dos fragmentos entre sí y coserlos. En algunas zonas muy fragmentadas, además, se enfundó la parte malograda en malla tubular de fibra de vidrio extensible o con rejilla de poliéster negra. Así, se conseguía una correcta unión mecánica y que las tablas quedaran terminadas para su traslado a la sala de exposiciones y montaje, sin necesidad de ningún adhesivo que pudiera generar una reacción química inadecuada.¹⁷ [pág.49]

EL ENSAMBLAJE DEL FORRO Y LAS CUADERNAS

Llegados a este punto había que abordar el ensamblaje entre el forro y las cuadernas. Después de valorar varias posibilidades para hacer esta operación se determinó de construir una estructura que sirviera tanto para soportar las piezas a su lugar durante la operación de ensamblaje como de apoyo definitivo para la presentación en exposición.

A partir de aquí, se empezó el diseño de este apoyo en una estrecha colaboración con el metalista.²⁰ Por su diseño se utilizó, como se ha comentado, el remontaje virtual del casco en 3D y también una reproducción a pequeña escala en 3D de cada cuaderna y de las tablas del forro. Ambas realizaciones sirvieron para asegurar que la estructura tendría la forma adecuada, que las piezas encajarían perfectamente y que su estructura fuera lo menos invasiva posible dado que el forro con las tablas acopladas pesa y requiere muchos puntos de soporte. Esto ahorró tener que construir plantillas u otros elementos provisionales de soporte como se hace en ocasiones.¹⁸ [pág.50]

LA ELECCIÓN DEL SOPORTE: TIPOS Y CARACTERÍSTICAS

Para llegar a la definición del soporte se hizo un pequeño estudio otros ejemplos de apoyos, especialmente de barcos a tingladiño y en particular de fragmentos de casco como el *Barceloneta I* a los cuales falta la quilla y solo conservan uno de los lados.

El resultado es una estructura de apoyo sólida (para soportar los 700 Kg de peso del casco) pero ligera, inocua y fácil de

mover gracias a las ruedas neumáticas, siendo posible desplazar el apoyo con las piezas colocadas entre dos personas. Consiste en un grupo vallas con la curvatura y perfil del casco del barco, separadas entre ellas de manera desigual para intercalar y adaptar perfectamente la forma particular de cada cuaderna. Es de acero inoxidable, desmontable para poderla transportar y entrar más fácilmente a la sala expositiva, con elementos regulables también de acero que hacen de tope y permiten una mejor sujeción de la tablazón y las cuadernas. El fragmento, tal como se propuso inicialmente, se presenta en su disposición original y elevado unos 70 cm del suelo que es la distancia que carencia hasta la quilla que, de conservarse, descansaría sobre el suelo de la sala.¹⁹ [pág.50]

TRASLADO Y MONTAJE EN EL MUSEO

Una vez fueron trasladadas las piezas de madera al museo, y almacenadas en la capilla de Santa Ágata, se procedió a montar la estructura metálica de soporte a la antecámara del Salón del Tinell. Montada la estructura, se empieza por colocar primeramente las tablas del forro, desde el inferior, la más próxima originalmente a la quilla, e ir poniendo sucesivamente el resto de tracas, en parte sobrepuestas a las inferiores. El proceso de colocación siguió el orden del proceso de construcción original, tal y como se había previsto, siguiendo el principio constructivo de forrado primero, desde la quilla en dirección a la regala, y con las tablas tingladas superponiéndose siempre el andén superior sobre el inferior, y una vez puesta todo el forro, se inició la segunda fase, de colocación de las cuadernas, en que originalmente tenían una función sobre todo de dar solidez la estructura, como refuerzo pero no la de dar forma al buque. El montaje, con las tablas del forro ya preparadas, fue bastante ágil y se pudo acabar en una semana.²⁰ [pág.51]

Cuando se manipulan tantas piezas a la vez, tener presente el sistema constructivo es muy importante y útil. Las marcas de los remaches nos indicaban que estábamos mirando la cara interior de las tablas y las de la cabeza que estábamos mirando la cara externa, y estas marcas y los orificios del clavo corresponden a la parte superior de la traca.

LA VITRINA Y EL SISTEMA DE CONTROL MICROCLIMÁTICO

El casco se expone dentro de una gran vitrina diseñada ex profeso que mantiene un ambiente de humedad relativa (55-60%) recomendada para contener la elevada higroscopicidad del PEG y por los riesgos de acidificación de la madera, al mismo tiempo que protege de la acumulación de polvo o colonización de microorganismos.²¹ A pesar del espacio expositivo de la Antecámara está climatizado, igualmente es necesaria la protección de la vitrina para amortecer las oscilaciones termohigrométricas que se producen en la sala con las aportaciones de aire externo a través de la puerta de entrada. La temperatura durante el verano se mantiene, de momento, por el encima de los 20 °C recomendables porque esto supone forzar la maquinaria en exceso y para ser insostenible en veranos cada vez más calurosos.

La vitrina es de vidrio y la base es de madera lacada al agua. Tiene un volumen de 35 m³ y está climatizada con cuatro climatizadores compactos²² –tres trabajando en serie y uno de repuesto– los cuales aportan aire al 55% de humedad relativa hacia el interior. El aparato de repuesto está a punto para ponerse en marcha en caso de que alguno de los otros pueda fallar.²³ Las máquinas están alojadas en un compartimento a tocar la vitrina y cada una tira el aire tratado a través

¹⁹ Agradecemos a Toby Jones, conservador del *Newport Ship*, a quien hicimos una consulta sobre las características de los clavos originales y los de sustitución que utilizan, sus comentarios y la advertencia de valorar el peso que se podía añadir a la estructura con los clavos de acero inoxidable.

²⁰ Fue diseñado por Màrius Roig y Anna Bullich, de la empresa Equiro SL y su construcción se encargó a Grop - Tallers Meca-Soriano.

²¹ Las medidas del fragmento del pecio son: 2,18 m de altura x 3,8 m de ancho y 1,9 de profundidad. Una vez sobre la estructura tiene 3,1 m de altura. La vitrina mide: 4 m x 3,5 m x 2,5 m. Se estudió regular la HR interior con la incorporación de gel de sílice y requería unos 120 kg de gel de sílice con acción tampón y se desestimó por las dificultades de regenerar periódicamente esta cantidad de producto.

²² Climatizadores: *Preservatech-Mini One*.

²³ HOCKER, E. "Maintaining a Stable Environment: Vasa's New Climate-Control System". *APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology*. Vol. 41 (2010), nº 2/3, p. 3-9.

²⁴ CABELLO BRIONES, C. "Conservación preventiva de barcos de madera extraídos de ambientes subacuáticos marinos. Estado de la cuestión". *Pátina*. Madrid, (2011), nº 16, p. 59-68.
JESSEN, V.; PEARSON, C. "Environmental conditions for storage and display of marine finds" En: PEARSON, C. (ed). *Conservation of Marines Archaeological Objects*, London: Butterworths, 1987, p. 268-270.

²⁵ Exposición en la antecámara del Tinell: *Barcelona, port mediterrani entre oceans. El testimoni del derelict Barcelona I*, comisariada por Ramon J. Pujades y Mikel Soberón. *Exposició virtual: El port. La porta oberta a Barcelona. El testimoni del Barceloneta I*.

²⁶ Ver el material disponible en la web del Puerto de Barcelona: PORT DE BARCELONA. *El Port, la porta oberta a Barcelona. El testimoni del derelict Barcelona I*. [En línea]. <<https://derelictbarceloneta.portdebarcelona.cat/>> [Consulta: junio 2022].

de un tubo de silicona que atraviesa el vidrio de la vitrina, a ras del suelo y genera una ligera sobrepresión al espacio interior. La presión positiva hace que el aire sea expulsado fuera de la vitrina lentamente a través de los pequeños orificios situados en la parte alta del vidrio opuesto al de entrada, de forma que se genera un ligero y constanding movimiento de aire. Esta renovación se fundamental porque proporciona una alta protección frente a la contaminación microbiológica y de partículas que puedan alterar la madera y, a la vez, es útil para disipar las emanaciones que puede emitir la propia madera del casco y enrarezcán el aire interior. ²¹ [pág.52]

En esta vitrina se mesura la humedad relativa y temperatura, interiores y exteriores, a diferentes alturas mediante varios sensores *datalogger*, los climatizadores se monitorizan por control remoto y un sistema de alarmas alertan en caso de que haya alguna disfunción.

Por el que hace la iluminación, el vidrio de la ventana más próxima tiene una lámina que, junto con la cortina protectora, filtran la luz natural y evitan que la radiación ultravioleta pueda desencadenar reacciones fotoquímicas (creación-destrucción de enlaces moleculares o foto-oxidación) o que la radiación infrarroja aporte calor que reseque la madera. El sistema de iluminación artificial se hace con lámparas LED situadas fuera de la vitrina con un nivel de iluminación (luminancia) entorno los 300 lux, que es el que se acepta en el caso de madera bien conservada²⁴ y se extrema la precaución de apagar la iluminación durante las horas de cierre del museo que reduzca al máximo las horas acumuladas de radiación.

LA MUSEALIZACIÓN

El objetivo de un museo es explicar a la ciudadanía de dónde venimos para entender ninguno donde vayamos. En este caso el objeto –el fragmento de un barco medieval de origen cantábrico– permite explicar la relación de la ciudad y el mar, a través de la actividad portuaria. Se una pieza situada a la antecámara del Tinell, punto de paso obligado para todas las visitas del Museo, el Tinell o la Capilla de Santa Ágata, de unas dimensiones que impresionan.

La pieza ilustra la intensa actividad comercial de Barcelona hace 600 años, con una proyección mediterránea y atlántica, un puerto que actuaba de nodo en las grandes redes comerciales de la época. De hecho, nos explica que la importancia actual de la ciudad y su puerto no son un hecho reciente, sino que viene de lejos, de muchos siglos antes.

Es por este motivo que el pecio acontece un símbolo de la historia, la vitalidad y el papel en la economía, política, sociedad, cultura, tecnología y transferencia del conocimiento durante la Baja Edad Media en la ciudad. De hecho, el objeto transmite la importancia económica que tuvo Barcelona en aquel momento, focalizado en su área portuaria y, a la vez, el mismo objeto pone de manifiesto el vínculo con el lugar donde se expone, el Palacio Mayor, el centro político y del conjunto de la Corona de Aragón en el mismo periodo.

El hecho de explicar la historia de la ciudad, de su puerto y su principal actividad económica (la importación y exportación de mercancías por vía marítima) permitió unir esfuerzos entre diferentes instituciones, con la realización de un conjunto de proyectos que finalmente han sido ejecutados en forma de exposición, (presencial o física y virtual), libreto de sala, ciclo de conferencias, etc. ²⁵ Actividades todas ellas

emprendidas por el equipo técnico del MUHBA y financiadas por el Ayuntamiento con el apoyo y colaboración del *Port de Barcelona*,²⁶ junto con el soporte del Círculo del MUHBA, que facilitaron la colaboración entre empresa privada y pública.

La voluntad del *Museu d'Història de Barcelona* era potenciar el discurso museográfico correspondiendo a la Baja Edad Media, con un elemento de peso como es el fragmento de una nave mercante representativa de la actividad comercial y marítima de la ciudad. El puerto como elemento fundamental en el origen, historia y evolución de la ciudad de Barcelona.

Por este motivo no se quería reproducir la excavación arqueológica, sino mostrar al público la posición original del fragmento en el casco de la nave. La intención era que el visitante pudiera entender que los restos estructurales de madera corresponden al lado de babor de una nave medieval.

De cara al futuro, la voluntad del *Museu d'Història de Barcelona* es que el *Barceloneta I* refuerce la vocación del museo como nodo de conocimiento técnico, histórico y social, vinculando ciudades y mares distantes. El proyecto *Barcelona, capital mediterrània* aborda la trayectoria de la ciudad y el vínculo con el mar como motor de su historia. Fruto de este proyecto tuvo lugar en 2020 la exposición *La metamorfosis medieval*, siglos XIII-XV, en el Salón del Tinell del Palacio Mayor, dedicada a la actividad comercial mediterránea de la ciudad, y en especial a la élite de prohombres enriquecidos por los negocios de cariz marítimo, los cuales lograron no solo un poder económico sino también político con la Universidad de los Prohombres de Ribera (1258) y el Consejo de Ciento (1274). Y finalmente, el mes de mayo de 2021 se inauguraba la nueva sala permanente en la antecámara del museo dedicada a Barcelona, puerto mediterráneo entre océanos. El testigo del *Barceloneta I*, con los restos del pecio como pieza central, acompañada por el modelo reconstitutivo, herramientas de barquero y calafate y plafones explicativos del hallazgo y su contexto histórico y geográfico. ²² [pág.53]

FUTURO DE LA CONSERVACIÓN

El reto a partir de ahora será conjugar la fruición y uso museográfico del pecio con la conservación a largo plazo. A partir de la inauguración de la exposición, las tareas de conservación y restauración continúan con el seguimiento climático, la monitorización y la evaluación periódica del estado de la madera (control de aspecto, posibles indicios de reacciones químicas, presencia de microorganismos, etc.). En definitiva, un programa de conservación preventiva destinado a evitar, detectar y responder a cualquier proceso de alteración en un estadio incipiente en una tarea que el museo asume de manera permanente. Con todo, habrá que seguir estudiando y estar atentos en los nuevos adelantos en el conocimiento, especialmente de los fenómenos de acidificación y, en relación con el ambiente protector, anticiparse a finales de la vida útil de los climatizadores e instalar sistemas alternativos lo más sostenibles posible.

IMÁGENES

PORTADA Vista del *Barceloneta I* (MHCB-42412) expuesto en la antecámara del Tinell del *Museu d'Història de Barcelona* (Fotografía: Enric Gracia Molina-Arxiu MUHBA).

1 Excavación del barco en 2008. Desde la excavación hasta la exposición del pecio en el *Museu d'Història de Barcelona* han transcurrido 13 años de trabajo intenso (Fotografía: Mikel Soberón).

2 Trabajos de control del secado en el *Museu Marítim*. **a y b)** Proceso de instalación de la cámara de secado. **c)** Interior de la cámara con los humectadores en funcionamiento (Fotografías: CASC).

3 Seguimiento periódico del estado de las piezas del pecio realizado en el *Centre de Col·leccions* del MUHBA antes de iniciar la limpieza final y montaje (Fotografía: Lúdia Font-Arxiu MUHBA).

4 Ilustración del sistema de unión de las tablas con clavos y remaches y de las cuadernas al forro mediante cabillas o pernos de madera (Imagen: AGOTE AIZPURUA, X. "Nuestros Barcos. Tipos de construcción. A tope y a tingladillo". En: AGOTE AIZPURUA, X. *Gure Itsasontziak*. Gipuzkoa: Diputación Foral de Gipuzkoa. Dirección General de Cultura, 2009, p. 24).

5 Modelo 3D obtenido a partir de la fotogrametría con la disposición del casco tal como apareció a la excavación (Imagen: Bruno Parés-Arxiu MUHBA).

6 Clavos de hierro presentados sobre la correspondiente tabla de donde se extrajeron durante la excavación (Fotografía: Lúdia Font-Arxiu MUHBA).

7 Durante el desmontaje del barco a la excavación se apreciaban claramente los óxidos encima las cuadernas y la mezcla de musgo, estopa, adhesivo y óxidos sobre las tablas (Fotografía: Mikel Soberón).

8 Proceso de medida del magnetismo de la madera de una cuaderna (Fotografía: María Molinas).

9 a) Medida del pH. **b)** Raspado de concreciones para ser analizadas (Fotografías: María Molinas).

10 y 11 Cartografía del magnetismo y resultados de las medidas de pH de la cuaderna 10 y de la tabla 5 (Imágenes: María Molinas. Àbac-Arxiu MUHBA).

12 a) Columna estratigráfica de la zona de la excavación donde se localizó el *Barceloneta I*. Encima el pecio hay más de un metro de arenas delgadas y sobre estas una capa vegetal de posidonia (Fotografía: SOBERÓN, M. *Memòria de la intervenció arqueològica a la plaça de Pau Vila, 12-13b / Carrer del Dr. Aiguader, 1-27 / carrer de la Marquesa, 2-6. Barcelona 096-06. excavació Còdex*, 2009, p. 131). **b)** Identificación de la pirita en una muestra de madera. Imagen obtenida del microscopio electrónico de barrido con detector de electrones retrodispersados (BSE) de la zona donde se ha realizado el análisis EDX (Fotografía: Arte-lab, S.L.). **c)** Espectro EDX del análisis obtenido del área delimitada a la imagen anterior (Imagen: Arte-lab, S.L.).

13 Proceso de limpieza del PEG que había aflorado a la superficie (Fotografía: María Molinas. Àbac).

14 Preparación del montaje del barco (Fotografía: Lúdia Font-Arxiu MUHBA).

15 Cartografía de los agujeros de clavos y cabillas con indicación de los que estaban libres o los ciegos (Imagen: María Molinas. Àbac).

16 Clavo nuevo de acero inoxidable. La cabeza tiene 3,2 cm de diámetro y 2 mm de grosor; el remache tiene 4 x 3,5 cm y 3 mm de grosor y el tallo hace 12 cm. Las improntas de las cabezas originales tenían la medida siguiente: entre 3 y 5 cm de diámetro la cabeza y entre 4 o 3,5 x 4,5 cm. el remache (Fotografía: Lúdia Font-Arxiu MUHBA).

17 Proceso de unión mecánica de fragmentos mediante una varilla de fibra de vidrio y poliéster (Fotografía: Lúdia Font-Arxiu MUHBA).

18 Una de las vistas del modelo 3D del soporte y del barco que sirvieron para comprobar el ajuste de las piezas originales (Imagen: Equiro SL).

19 Vista exterior del casco montado sobre la estructura de soporte (Fotografía: Jordi Puig-Arxiu MUHBA).

20 Uno de los momentos de la instalación del forro y de las cuadernas (Fotografía: Lúdia Font)

21 Preparación de los climatizadores de la vitrina (Fotografía: Lúdia Font).

22 El *Barceloneta I* (MHCB-42412) junto con el modelo a escala se exponen en la antecámara del Tinell del MUHBA (Fotografía: Enric Gracia-Arxiu MUHBA).

BIBLIOGRAFÍA

BERTRAND, F. “Étude de la contamination en sulfures de fer de l'épave Lyon Saint Georges 4”. *Rapport d'activité 2013/2014*. Grenoble: ARC-Nucléart, 2014, p. 89-91.

BRODA, M.; HILL, C.A.S. “Conservation of waterlogged wood-Past, Present and Future Perspectives”. *Forests*, Vol. 12 (2021), nº 9, 1193. Disponible en línea en: <<https://www.mdpi.com/1999-4907/12/9/1193>> [Consulta: junio 2022].

CHAUMAT, G. [et al.]. “Les techniques actuelles de conservation mises en oeuvre par ARC-Nucléart”. En: BERNARD-MAUGIRON, H. [et al.] (dirs.) *Sauvé des eaux. Le patrimoine archéologique en bois, histoires de fouilles et de restaurations*. Grenoble: ARC-Nucléart, 2007, p. 169-178.

FROMENT, C. “Conservation de vestiges en bois et métal de plus de 2000 ans”. En: DINH-AUDOUIN, M.-T.; OLIVIER, D.; RIGNY, P. (coords.). *Chimie et Alexandrie dans l'Antiquité*. Paris: EDP Sciences, 2020, p. 85-104.

LEMOINE, G. [et al.]. “Les polyéthylènes glycols en conservation des matériaux organiques archéologiques”. En: LE ROY-LAFAURIE, P.; QUEIXALOS, I.; PAÏN, S. (corr.) *Cahier technique N° 24. Biographie de l'objet. Actes des Journées des restaurateurs en archéologie organisées par le laboratoire Materia Viva. Toulouse, 13 et 14 octobre 2016*. Toulouse: ARAAFU, 2019, p. 4-13.

MARTÍNEZ CARBALLAL, X. “Tractament de postliofilització per a la prevenció de l'acidificació en fusta arqueològica amarada d'aigua. El cas del vaixell gal·loromà LSG4”. *Unicum* (2018), nº 17, p. 77-84.

PUJOL, M. [et al.]. “Barceloneta I. A 15th -century clinker-built shipwreck in Barcelona” En: GAWRONSKI, J., VAN HOLK, A., SCHOKKENBROEK, J. (eds.). *13th International Symposium on boat and Ship archaeology*. Eelde (Nederland): Barkhuis Publishing, 2017, p. 283-289.

PUJOL, M.; SOBERÓN, M. “El pecio de Barceloneta I, una embarcación atlántica del siglo XV en Barcelona”. En: *Actas de las jornadas de ARQUA 2011*. Cartagena: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2012, p. 117-123.

SIERRA, J.L. “La conservación de la madera arqueológica subacuática. Museo y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas”. En: FERNÁNDEZ, C. PALACIO, R. (eds.) *Monte Buciero 9. La conservación del material arqueológico subacuático*. Santoña (Cantabria): Ayuntamiento de Santoña, 2003, p. 225-266.

SOBERÓN, M., PUJADES, R. *Barcelona, port mediterrani entre oceans. El testimoni del vaixell Barceloneta I*. Barcelona: Ajuntament de Barcelona, 2021, p. 51. (MUHBA Llibrets de sala; 34).

SOBERON, M. [et al.]. “El Barceloneta I. Una embarcación medieval a tingladillo en Barcelona”. *Itsas Memoria. Revista de Estudios Marítimos del País Vasco* (2012), nº 7, p. 411-422.

SOBERÓN, M. “Que en ell stara segura la maior nau del mon. Tràfic i evolució del port de Barcelona al segle XV”. *Quarhis* (2012), nº 8, p. 54-78.