



PHICARIA

VII ENCUENTROS INTERNACIONALES DEL MEDITERRÁNEO

LA RECUPERACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO SUMERGIDO:

PROBLEMAS Y PROPUESTAS



PHICARIA

VII Encuentros Internacionales del Mediterráneo.

La recuperación del patrimonio arqueológico sumergido: problemas y propuestas.

© de los textos y las imágenes:
Sus autores.

© de esta edición:
Universidad Popular de Mazarrón.
Concejalía de Cultura.

COORDINACIÓN EDITORIAL
José María López Ballesta.

EDICIÓN CIENTÍFICA
María Milagros Ros Sala.

PORTADA
Muher.

IMPRIME
I.G. Novoarte, S.L.

ISBN: 978-84-09-09698-5

Depósito Legal: MU-241-2019

Impreso en España / Printed in Spain

ÍNDICE

EL PROYECTO DELTA, EJEMPLO DE INVESTIGACIÓN Y PROTECCIÓN DEL PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO SUBACUÁTICO DE ANDALUCÍA. Milagros Alzaga García, Carmen García Rivera, Mercedes Gallardo Abárzuza, José Manuel Higuera-Milena Castellano.....	17
LA ARQUITECTURA NAVAL GRIEGA DE ÉPOCA CLÁSICA, UN VACÍO EN EL CONOCIMIENTO. Carlos de Juan Fuertes	35
ESTUDIO Y CONSERVACIÓN DE LOS RESTOS SUMERGIDOS DE CAMPANIA Y LATIUM: LOS CASOS DE BAIA Y DE LAS <i>VILLAE MARITIMAE</i> DEL LACIO MERIDIONAL. Michele Stefanile	49
IMBARCAZIONI SUL DELTA DEL PO: DALLA <i>FORTUNA MARIS</i> ALLE MONOSSILI. UNA STORIA DI BARCHE, DI UOMINI, DI PAESAGGI E DI ECONOMIE (E DI MUSEI). Sauro Gelichi	63
LA CONSERVACIÓN DEL MARFIL DE PROCEDENCIA SUBACUÁTICA. Milagros Buendía Ortuño	77
EXPEDICIONES CIENTÍFICAS AL PECIO DE LA FRAGATA <i>NUESTRA SEÑORA DE LAS MERCEDES</i> . LA CONSERVACIÓN DE LOS OBJETOS RECUPERADOS. Juan Luis Sierra Méndez.....	91
DE LA EXTRACCIÓN A LA PUESTA EN VALOR DE LOS PECIOS HISTÓRICOS. EVOLUCIÓN CONCEPTUAL DE LA PUESTA EN VALOR DE LOS HALLAZGOS SUBACUÁTICOS. UN CASO PRÁCTICO: EL PROYECTO <i>ISLA GROSA</i> . Felipe Cerezo Andreo, Carlota Pérez-Reverte, Juan Pinedo Reyes.....	105
LA MEMORIA SUMERGIDA EN UN MAR DE FANGO. PORTMÁN, UN PATRIMONIO POR EXCAVAR. Óscar González Vergara.....	123
LA RECUPERACIÓN ARQUEOLÓGICA DE LA ARTILLERÍA SUMERGIDA: EL CASO DE LA FRAGATA <i>NUESTRA SEÑORA DE LAS MERCEDES</i> . Juan Jesús Oliver Laso.....	139

LA CONSERVACIÓN DEL MARFIL DE PROCEDENCIA SUBACUÁTICA

MILAGROS BUENDÍA ORTUÑO

LA CONSERVACIÓN DEL MARFIL DE PROCEDENCIA SUBACUÁTICA

MILAGROS BUENDÍA ORTUÑO

INTRODUCCIÓN

La realización de toda intervención arqueológica subacuática debe ajustarse a nuestro marco legislativo, la Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español¹, las leyes autonómicas sobre patrimonio cultural o histórico, la Convención de la UNESCO de 2001 sobre protección del Patrimonio Cultural Subacuático¹, su anexo, el Plan Nacional para la protección del PCS español y el Libro Verde, que establecen los principios básicos para la intervención y preservación de este patrimonio atendiendo a sus especiales características.

La conservación es uno de los pilares básicos en el estudio y difusión del PCS y, por lo tanto, debe estar presente en cualquier intervención arqueológica en todas sus fases, lo que implica contar con unos recursos adecuados y profesionales especializados capaces de aportar soluciones en el yacimiento y en el laboratorio. Cualquier procedimiento de conservación debe basarse en un conocimiento profundo de los materiales y su grado de alteración, por lo que la investigación es imprescindible para seleccionar y aplicar los tratamientos más adecuados.

El yacimiento del Bajo de la Campana se documentó por primera vez en la década de los 70, y se ha excavado sistemáticamente entre 2007 y 2011 (Figuras 1 y 2), en el marco de un convenio de colaboración firmado entre el *Institute of Nautical Archaeology* de *Texas A&M University (The Agricultural and Mechanical College of Texas)* y el Ministerio de Cultura de España, a través del Museo Nacional de Arqueología Subacuática²; el estudio de su cargamento sugiere que se trata de una nave de comercio de redistribución de época fenicia, s. VII-VI a.C., que transportaba materias primas, manufacturadas y objetos de lujo (PINEDO y POLZER, 2011), y de entre las primeras destaca un extraordinario conjunto de

defensas de elefante, algunas de ellas con inscripciones. La singularidad del hallazgo radica en que es uno de los escasos ejemplos de pecios fenicios documentados en el Mediterráneo, pero también de los pocos que transportaban marfil como materia prima en todo el mundo. La limitada presencia de marfil en yacimientos subacuáticos es la razón por la que conocemos muy poco sobre su conservación y el objetivo principal de nuestro trabajo de investigación.



Figura 1. Polzer, M.E., and Pinedo, J. 2007. Phoenicians in the West: The Ancient Shipwreck Site of Bajo de la Campana, Spain. *INA Annual* 2007: 57–61.

¹ En adelante PCS.

² En adelante MNAS.



Figura 2. Polzer, M.E., and Pinedo, J. 2011. Excavating an Iron Age Phoenician Shipwreck at Bajo de la Campana, Spain. In F. Castro and L. Thomas (eds), *ACUA Underwater Archaeology Proceedings 2011*, 84–93. Advisory Council on Underwater Archaeology.

La primera referencia bibliográfica de las defensas del Bajo de la Campana se encuentra en las publicaciones de Julio Mas García (MAS, 1987: 103-105), primer director del Museo, que destaca lo excepcional de su hallazgo y de las inscripciones que presentan cuatro de ellas. No se conocen con exactitud las circunstancias en las que se recuperaron las trece primeras defensas de elefante, a finales de los años 50, pero la información de la que disponemos apunta a que permanecieron en una colección particular hasta que fueron donadas en 1979 al Patronato de Excavaciones Arqueológicas Submarinas de Cartagena. Durante ese periodo no hay constancia de que recibieran tratamiento alguno, hecho que podría explicar el delicado estado de conservación en el que ingresaron en el museo.

Sobre este conjunto se intervino en tres ocasiones, las dos primeras, en la década de los 80, con resultados satisfactorios a corto-medio plazo, sin embargo, el estado de conservación del conjunto de defensas se vio agravado por la escasa hermeticidad de las vitrinas donde estaban

expuestas, falta de climatización de la sala de exposición y, por supuesto, los daños sufridos durante su extracción del yacimiento que las intervenciones de los años 80 no pudieron frenar completamente. De 2006 a 2008 las 13 defensas reciben el último tratamiento de conservación-restauración en el Instituto del Patrimonio Cultural de España y desde su regreso, forman parte de la exposición permanente del museo.

PROGRAMA DE CONSERVACIÓN

Entre los años 2007 a 2011 se desarrolla el proyecto de intervención arqueológica en el Bajo de la Campana, y desde el primer año es destacable la presencia de defensas de elefante entre los materiales recuperados, el número aumenta en sucesivas campañas hasta 53 nuevos ejemplares, entre defensas completas y fragmentos de defensa, siete de ellas con inscripciones. Durante el desarrollo de los trabajos de excavación sistemática en el Bajo de la Campana, el laboratorio de conservación



Figura 3. Preparación de infraestructura, espacios y contenedores en el laboratorio de conservación del MNAS (Archivo fotográfico del MNAS).

del MNAS implementó un programa de conservación que contemplaba una serie de actuaciones antes, durante y después de la intervención arqueológica, tal y como establece la Convención de la UNESCO para la protección del PCS de 2001 en su Anexo.

Antes de comenzar la intervención arqueológica realizamos una planificación detallada de las distintas actuaciones en materia de conservación que se desarrollarían en paralelo y de forma coordinada con los arqueólogos, dirigidos por Juan Pinedo y Mark E. Polzer. Esta planificación quedó recogida en un cronograma que establecía objetivos, sus fases, desarrollo en el tiempo, personal y recursos necesarios (Figura 3). En el laboratorio de conservación del museo se prepararon los espacios e infraestructuras necesarias para la recepción de los materiales, la adquisición de contenedores

y fungibles, así como las acciones necesarias para una conservación efectiva, especialmente durante la excavación, cuya prioridad fue minimizar el impacto de la recuperación de las defensas, de la ruptura de las condiciones del medio subacuático con las que habían alcanzado un equilibrio, para pasar a un medio aéreo con unas condiciones variables y diametralmente opuestas a las de enterramiento.

La asistencia al trabajo de los arqueólogos en el yacimiento, especialmente para la excavación y extracción de materiales frágiles, es otra de las labores contempladas en el programa de conservación (Figura 4). Cuando una defensa era localizada y documentada, se retiraba el sedimento y se delimitaban su área y volumen para conocer su posición, si estaban adheridos a otros materiales y su estado de conservación. Para separarlas



Figura 4. Engasado de una defensa *in situ* (Archivo fotográfico del MNAS).



Figura 5. Inmovilización y traslado de una defensa (Archivo fotográfico del MNAS).

del lecho marino se creaban varios puntos de acceso, evitando ejercer tensión de forma puntual, para proceder posteriormente a su extracción de forma segura. En la mayoría de los casos se efectuaba un engasado previo con gasa hidrófila, y su inmovilización en soportes rígidos para las más grandes o enterradas en sedimento en el interior de cajas para las de tamaño medio, pequeñas y fragmentos; a partir de ese momento se iniciaba el ascenso a superficie de forma gradual hasta la embarcación de apoyo donde fueron acomodadas e inmovilizadas sobre espumas que absorbían las vibraciones, en el interior de recipientes opacos, siempre en húmedo y protegidas de la luz. (ROBINSON, 1998) (Figura 5). Se debe evitar cualquier operación de eliminación de concreción o depósitos, así como la separación de objetos fuera del laboratorio de conservación.

Una vez los materiales ingresaban en el laboratorio de conservación del MNAS, eran revisados de forma individual y se clasificaban según su naturaleza.

En el caso de las defensas, después de retirar las gasas que las protegían, se realizó una limpieza de sedimentos y materia orgánica con agua y paletinas de cerdas suaves (Figura 6), momento en el que eran documentadas.

Tras el cotejo del listado de materiales que nos proporcionaron los arqueólogos, los conservadores realizaban el acta de depósito en el museo.



Figura 6. Eliminación de sedimentos (Archivo fotográfico del MNAS).

La eliminación de sales solubles, depósitos y concreciones son los primeros e ineludibles tratamientos de conservación que debemos aplicar a los materiales de procedencia subacuática, teniendo siempre en cuenta las especiales características de cada pieza. En una primera fase, las defensas se sumergen en grandes tanques de polietileno (capacidad 500 litros), con una mezcla de agua de mar y agua de red cuyas proporciones se van invirtiendo progresivamente. El objetivo de mantenerlas en la mezcla de agua de mar y agua de red, como paso previo al agua desionizada, es realizar una transición de forma gradual, ya que una inmersión directa podría provocar daños debido al estrés osmótico (Figura 7). A partir de los seis meses de su recepción, comienzan los baños con agua de red, que se cambian periódicamente durante dos meses más. Cuando las defensas han pasado este periodo de transición, comenzamos a incorporar agua desionizada en porcentajes

que aumentan progresivamente cada ocho semanas. Con las defensas ya sumergidas en agua desionizada, se va controlando la eliminación de sales solubles mediante la medición de la conductividad de los baños. Los tanques deben mantenerse limpios mediante revisiones periódicas, limpieza de residuos de tipo orgánico que se depositan en la base, filtrado y recirculación del agua. No hemos utilizado productos biocidas mientras las defensas han permanecido en agua, para no interferir con futuros análisis.

De forma paralela a la eliminación de sales solubles se realiza la limpieza mecánica de depósitos y concreciones, muchos de ellos restos de colonización biológica. La elección de este tipo de limpieza se justifica porque es más controlable y no aporta ningún producto que pudiese dañar el marfil o que fuese incompatible con los productos incorporados del medio (Fig 8).



Figura 7. Eliminación de sales solubles (Archivo fotográfico del MNAS).



Figura 8. Limpieza mecánica de depósitos y concreciones (Archivo fotográfico del MNAS).

La recopilación sistemática de los datos generados en las diferentes etapas de trabajo es imprescindible, descripción del estado de conservación inicial, toma de muestras, análisis, propuesta de intervención y descripción de todo tratamiento que vaya siendo aplicado –metodología y productos–, fotografía individual de cada pieza y de los diferentes procedimientos de conservación y sus resultados.

Después de la eliminación de sales solubles e insolubles, estaríamos preparados para la siguiente fase, la de secado, que es extremadamente crítica para los materiales arqueológicos orgánicos de procedencia subacuática, pero también para los de naturaleza compuesta, como es el caso de marfil. La transformación que sufren sus componentes estructurales son los responsables del cambio en las propiedades físicas y mecánicas, lo que se traduce en los severos daños de carácter irreversible que observamos durante la fase de secado, si no aplicamos ningún tratamiento de conservación.



Figura 9 + Detalle. Procesos de deterioro de tipo físico y biológico (Archivo fotográfico del MNAS).

INVESTIGACIÓN

Los pocos casos documentados sobre marfil de procedencia subacuática explican que conozcamos poco sobre su conservación, en torno a veinte pecios de diversa cronología en todo el mundo, entre los que el Bajo de la Campana es de los más antiguos. Una revisión sobre el estado de la cuestión pone de manifiesto los escasos tratamientos aplicados hasta el momento, conocemos algunos casos de secados naturales o inducidos e impregnación con resinas acrílicas con resultados impredecibles y desiguales.

El proyecto de investigación para la conservación de las defensas de elefante del Bajo de la Campana, tiene como objetivo la propuesta de un adecuado tratamiento de conservación que se ajuste a las especiales características

del marfil. Para ello es imprescindible conocer y comprender el material con el que estamos trabajando, los factores de alteración del medio del que proceden y los procesos de deterioro que se han desarrollado.

De entre los factores de alteración del entorno subacuático del Bajo de la Campana podemos destacar la anegación, la química del agua, la salinidad, el fondo somero y sedimentario, la temperatura del agua, la biota, pH y potencial redox, la hidrodinámica y el factor antrópico.

Su interacción con las defensas ha desencadenado una serie de procesos de deterioro de tipo físico (fractura, pérdida de materia, fisuras...), de tipo químico (disolución de componentes estructurales, manchas superficiales de elementos contaminantes como alquitrán y óxidos de hierro, infiltración de componentes exógenos ..) y, por último, de tipo biológico (destacan los daños provocados por esponjas endolíticas, moluscos, equinoides y poliquetos (RICCI *et al.* 2017)) (Fig 9 1+2).

Para entender qué es el marfil y su estado de conservación inicial necesitamos estudiar su composición y diagénesis. La caracterización del marfil³ se ha realizado a través de varias

³ Instituto Universitario de Conservación y Restauración de la Universitat Politècnica de València, bajo la dirección de la Dra. Teresa Doménech-Carbó y Servicio de Microscopía Electrónica de la Universitat Politècnica de València.



Figura 10 (1). Muestras de marfil arqueológico del Bajo de la Campana y marfil no degradado (Archivo fotográfico del MNAS).



Figura 10 (2).

técnicas analíticas como microscopía, óptica y electrónica de barrido con microanálisis de rayos X (SEM-EDX), espectroscopía de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR), cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS) y difracción de rayos X (XRD). Se han tomado muestras de marfil arqueológico (nº inventario SJBC11-2471_6) y de marfil no degradado (nº de referencia 8/89/C⁴) (Fig 10. 1+2).

El marfil está compuesto por una combinación de dos fracciones orgánica e inorgánica íntimamente relacionadas, 2/3 partes de hidroxipatito de calcio y 1/3 parte de colágeno tipo I, principalmente, secretados por los odontoblastos a través de los túbulos dentinales, que forman fibras de colágeno mineralizadas. Estos componentes, altamente

⁴ El ejemplar del que hemos obtenido la sección de marfil no degradado procede de un decomiso por incumplimiento del Convenio sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) y los Reglamentos de aplicación en la Unión Europea. De la Autoridad Administrativa CITES España, dependiente del Mº de Economía y Competitividad. Secretaría de Estado de Comercio. Subdirección General Inspección Certificación y Asistencia Técnica de Comercio Exterior.

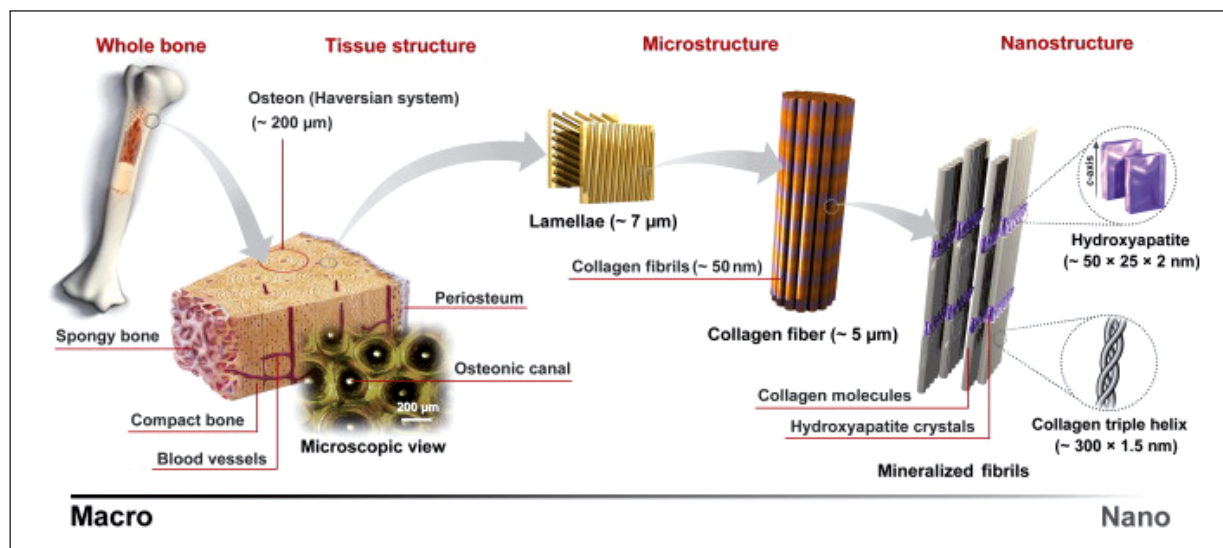


Figura 11. Estructura jerárquica de los componentes estructurales del hueso y marfil (Sadat-Shojai et al., 2013, p.7592, Figure 1).

jerarquizados desde la nanoescala, son los que le confiere al marfil sus extraordinarias características físico-mecánicas (Fig 11).

El impacto que el medio subacuático ha tenido sobre las defensas de elefante del Bajo de la Campana ha provocado una serie de trayectorias diagenéticas que determinan el estado de conservación en el que actualmente se encuentra. El periodo de inmersión ha provocado la hidrólisis y disolución por gelatinización de la materia proteica, lo que ha incrementado la porosidad. Este proceso ha dado lugar al desarrollo de otros secundarios en paralelo como el intercambio iónico, la colonización por especies invasoras del medio marino, que en algunos casos ha contribuido a la neoformación de nuevos productos, infiltración de minerales autígenicos, desagregación del bioapatito en las superficies en contacto con el agua, disolución parcial de cristales de bioapatito y posterior recristalización con el consiguiente aumento de la cristalinidad (DOMÉNECH-CARBÓ *et al.*, 2016). Esta profunda transformación explica que el agua haya pasado a formar parte de su estructura y su pérdida originaría graves tensiones que ocasionarían el colapso de las mismas de forma irreversible.

Además de la caracterización inicial, la degradación del marfil de procedencia subacuática ha quedado documentada mediante el registro de los daños que sufre el marfil arqueológico del Bajo de la Campana, al someterse a un secado natural y secado controlado en cámara de humedad, sin la aplicación de ningún tratamiento. Para ello se utilizó, respectivamente, la

sección 3 del fragmento de defensa con nº de inventario SJBC_11_2471_3 (Fig 12. 1+2+3) y un fragmento de defensa, con nº de inventario SJBC_08_0492. En ambos casos se produce una pérdida de peso total en torno al 40% y el colapso del fragmento. Los cambios más importantes se han producido en la sección transversal, y menores en la tangencial y longitudinal, debido a la anisotropía del marfil.

Por todo ello, los tratamientos de conservación para el marfil anegado deben alcanzar, como objetivo prioritario, eliminar el agua garantizando la estabilidad dimensional. En caso de que se incorporen productos nuevos para aportar resistencia mecánica, deberán ser compatibles con el marfil y con los compuestos incorporados del medio subacuático o neoformados durante el periodo de enterramiento, si no han podido ser eliminados. Los consolidantes deberán poseer determinadas propiedades físicas y químicas que garanticen un buen resultado, como la capacidad de penetración y difusión del producto, sobre todo para un material extremadamente denso como el marfil, aportar la suficiente resistencia mecánica que permita ser manipulado sin causar daños, que garantice la estabilidad dimensional, la apariencia natural del material y sea inocuo en su uso y manipulación.

La bibliografía sobre conservación de marfil de procedencia subacuática no es abundante y se suele incluir en el grupo genérico de materiales óseos, junto con hueso y asta, llamados frecuentemente *Bone and related materials*, o bien *Other than Wood* por el grupo de trabajo *Waterlogged Organic Archaeological Materials* de ICOM-



Figura 12 (1). Secado sin tratamiento de la sección 3 del fragmento de defensa con nº de inventario SJBC_11_2471_3.



Figura 12 (2).



Figura 12 (3).

CC. En las primeras publicaciones que abordan el tema de la conservación de marfil anegado se hace referencia a los tratamientos de forma genérica, trasladando una secuencia de tratamientos de conservación similar a la que se hace para otros materiales de procedencia subacuática⁵.

Los trabajos del Dr. Ian Godfrey, del *Western Australian Museum*, suponen un salto cualitativo en materia de conservación de marfil anegado y trabaja por primera vez con el procedimiento de la plastinación, desarrollado por Von Hagens a finales de los 70 para la conservación de especímenes orgánicos para la docencia en medicina y veterinaria. El procedimiento Biodur[®] S10 y S15 consiste básicamente en la deshidratación con disolventes (etanol y acetona), impregnación del polímero con el elongador de cadena o catalizador y, finalmente, curado por exposición a vapores del agente de cruzado o crosslinker (VON HAGENS, 1987).

Existe una variante del procedimiento⁶ desarrollado por el Dr. Wayne Smith del *Archaeological Preservation Research Laboratory, Texas A&M University* (SMITH, 2003). Godfrey aplica ambos procedimientos y la bondad del tratamiento es documentada diez años después de la aplicación, los resultados en todos los casos han sido satisfactorios (GODFREY *et al.*, 2012).

Una vez definido el estado de conservación inicial de las defensas del Bajo de la Campana, iniciamos la experimentación con el procedimiento de la plastinación, en concreto Biodur[®] S15 a temperatura ambiente. Para ello contamos con la amplia experiencia de los profesores Dr. Rafael Latorre y Dr. Octavio Albers, al frente del Laboratorio de plastinación de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Murcia, con quienes compartíamos el interés común en conocer y documentar las posibilidades e idoneidad de esta técnica de preservación sobre patrimonio cultural. Planteamos la aplicación del procedimiento en fases sucesivas, primero con una sección de defensa (SJBC_11_2471_5a), y en función de los resultados obtenidos pasar a un fragmento de defensa (SJBC_11_2980) y finalmente, una defensa completa (SJBC_10_1926) (Fig 13 1+2+3).

Para la deshidratación se ha utilizado acetona y los baños se han mantenido a una temperatura de 4°C, para evitar que el intercambio se produjese de forma rápida; el tiempo hasta finalizar el intercambio agua/acetona aumenta cuanto mayor es el tamaño y volumen de las piezas.

⁵ En las publicaciones se describe una secuencia estándar de tratamientos, limpieza, desalación, consolidación y secado, y en ocasiones, se hace referencia a unas condiciones básicas de conservación preventiva (Jenssen, 1987, Cronyn, 1990, Hamilton, 2000).

⁶ Polímeros más fluidos a temperatura ambiente y ligero vacío.



Figura 13 (1). Sección de defensa (SJBC_11_2471_5a), fragmento de defensa (SJBC_11_2980) y defensa completa (SJBC_10_1926) plastinadas.



Figura 13 (2).



Figura 13 (3).

La fase de impregnación con ayuda de vacío, que se aplicaba de forma progresiva, se ha realizado sin problemas, la mezcla de polímero y catalizador, Biodur® S15 y Biodur® S3 al 1%, se ha incorporado perfectamente en cada caso y el burbujeo nos indicaba la evolución de esta fase; cuando éste cesa significa que hemos llegado al final del proceso. Para el marfil arqueológico, alcanzar valores de presión de 5 mm Hg no ha tenido ningún impacto negativo sobre el material y el tiempo empleado en la impregnación, al igual que con la deshidratación, ha sido mayor cuanto mayor era el tamaño y volumen de las piezas. Finalizada la impregnación, las piezas han sido introducidas en una cámara de curado donde han sido expuestas a los vapores del crosslinker, Biodur® S6. En los tres casos, sección de defensa, fragmento de defensa y defensa completa, los resultados fueron satisfactorios (BUENDÍA *et al.*, 2017).

La documentación 3D y el registro de magnitudes como el peso, la densidad y el volumen, antes y después del tratamiento de plastinación, han demostrado la estabilidad dimensional conseguida con este procedimiento (Fig 14 I+2).

Los ensayos para conocer la eficiencia del tratamiento de plastinación han consistido en examen morfológico, análisis estructural, ensayos mecánicos y envejecimiento acelerado (BUENDÍA, 2016). Las piezas adquieren, después del tratamiento, la suficiente resistencia mecánica para ser manipuladas de forma segura y sin temor a que se produzcan nuevas pérdidas o desprendimientos.

El polímero tiene un alto poder de difusión y pasa a ser el elemento sustentante de una estructura dañada, como es el marfil del Bajo de la Campana, su estabilidad química hace que sea apropiado tanto para el marfil como para los elementos exógenos incorporados, especialmente los más inestables, como la pirita.

Los ensayos de envejecimiento llevados a cabo sobre el compuesto silicónico utilizado en la plastinación y sobre el fragmento de defensa sometido a plastinación han puesto de manifiesto la gran resistencia de dicho compuesto a los agentes degradantes medioambientales.

CONCLUSIONES

La valoración del procedimiento es positiva, no sólo conseguimos eliminar el agua, también una estabilidad dimensional que es imprescindible para la preservación y el estudio de las piezas.

Al igual que en el trabajo del Dr. Godfrey (GODFREY *et al.* 2010), debemos documentar la bondad del tratamiento y para ello el transcurso del tiempo y las piezas objeto de este trabajo serán los mejores testimonios.



Figura 14. Escaneado de la sección de defensa (SJBC_11_2471_5a) en el Servicio de Diseño Industrial y Cálculo Científico de la Universidad Politécnica de Cartagena.

Los resultados obtenidos son un estímulo para continuar con la investigación, para seguir profundizando en el estudio del marfil del Bajo de la Campana y en la búsqueda de procedimientos de conservación basándonos en la metodología que hemos presentado. El trabajo interdisciplinar y la colaboración entre instituciones se han revelado necesarios y fructíferos, por la suma de recursos y esfuerzos, y el beneficio en ampliar el conocimiento sobre la materia y poder difundirlo.

BIBLIOGRAFÍA

- ALBÉRIC, M., DEAN, M. N., GOURRIER, A., WAGERMAIER, W., DUNLOP, J. W. C., STAUDE, A., FRATZL, P., REICHE, I. (2017): «Relation between the Macroscopic Pattern of Elephant Ivory and Its Three-Dimensional Micro-Tubular Network», *PLoS One*, 12 (1), pp. 1-22
- BUENDÍA, M., LATORRE, R., LOPEZ-ALBORS, O. (2017): «Plastination applied to the conservation of cultural heritage», *The Journal of Plastination*, 29, pp. 11-21
- BUENDÍA, M., (2016): La conservación del marfil de procedencia subacuática: las defensas de elefante del Bajo de la Campana (San Javier, Murcia) del Museo Nacional de Arqueología Subacuática. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de València.
- CRONYN, J.M. (1990): *The Elements of Archaeological Conservation*, págs. 122-163, London/ New York
- DOMÉNECH-CARBÓ, T., BUENDÍA-ORTUÑO, M. Y PASÍES-OVIEDO T. (2017): «Analytical study of waterlogged ivory from the Bajo de la Campana site (Murcia, Spain)», *Microchemical Journal*, 126, pp. 381-405.
- GODFREY, I., KASI, K., LUSSIER, S. (DEC.) Y C. WAYNE SMITH (2010): «Conservation of waterlogged elephant tusks», *Proceedings of the 11th ICOM Working Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*, Greenville, Straetkvern K. y E. Williams, págs. 633-646.
- GONZÁLEZ-VARAS, I. (2005): *Conservación de bienes culturales: Teoría, historia, principios y normas*, Madrid.
- HERRAEZ, I. (2014): «Intervenciones de conservación-restauración sobre los marfiles del pecio fenicio del Bajo de la Campana (Cartagena, Murcia)», *Informes y Trabajos*, 10, pp. 129-148.
- LOCKE, M. (2008): «Structure of Ivory», *Journal of Morphology*, 269, pp. 269-423.
- MAS GARCÍA, J. (1985): «El polígono submarino de Cabo de Palos. Sus aportaciones al estudio del tráfico marítimo antiguo», *VI Congreso Internacional de Arqueología Submarina*, Madrid, págs. 153-171.

MAS GARCÍA, J., (1987): «El marfil en la Antigüedad: seguimiento de sus manufacturas hasta el sureste ibérico», *Murgetana*, 72, pp. 5-108.

MEDEROS, A. Y RUIZ CABRERO, L. A. (2004): «El pecio fenicio del Bajo de la Campana (Murcia, España) y el comercio fenicio del marfil norteafricano», *Zephyrus*, 57, pp. 263-28.

PEACHEY, C., (1997): «Uluburun Shipwreck Project: Conservation and Research 1996-1997», *INA Quarterly*, 24, 3, pp. 12-17.

PEDERSEN, N.B., JENSEN, P. Y K.B. , BOTFELDT (2012): «A Strategy for testing impregnation agents for waterlogged archaeological wood: - examination of azelaic acid as an impregnation agent», *Proceedings of the 11th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*, Greenville, págs. 185-206.

POLZER, M. E. (2014): «The Bajo de la Campana shipwreck and colonial trade in phoenician Spain», *Assyria to Iberia at the Dawn of the classical Age*, Aruz, J., Graff, S.B. y Y. Rakic, New York, págs. 230-242.

POLZER, M. E. Y PINEDO REYES, J. (2011): «The Final Season of the Claude and Barbara Duthuit Expedition to Bajo de la Campana, Spain: Excavation of a Late Seventh-century B.C.E. Phoenician Shipwreck», *INA Annual*, 5, pp. 6-17.

RAOOF, A., HENRY, R. W.Y REED, R.B. (2007) «Silicone Plastination of biological tissue: room-temperature technique Dow®/Corcoran technique and products», *Journal of the International Society for Plastination*, 22, pp. 21-25.

RAUBENHEIMER, E.J., DAUTH, J., DREYER, M.J., SMITH, P.D. Y M.L., TURNER, (1999): «Structure and composition of ivory of the African elephant (*Loxodonta africana*)», *South African Journal of Science*, 86, pp. 192-193.

ROBINSON, W., (1998): *First Aids for Underwater Finds*, London.

SANZ NÁJERA, M., (1980): «Conservación y restauración de trece defensas de elefante procedentes del medio marino. Consideraciones metodológicas», *III Congreso de Conservación de Bienes Culturales*, Valladolid, págs. 135-138.

SMITH, C.W., (2003): *Archaeological Conservation Using Polymers: Practical Applications for Organic Artefact Stabilization*, Texas.

SU, X.W. Y CUI, F.Z. (1999): «Hierarchical structure of ivory: from nanometer to centimeter», *Materials Science and Engineering C*, 7, pp. 19-29.

TRIPATI, S. Y GODFREY, I. (2007): «Studies on elephant tusks and hippopotamus teeth collected from the early 17th century Portuguese shipwreck off Goa, west coast of India: evidence of maritime trade between Goa, Portugal and African countries», *Current Science*, 92,3, pp. 332-339.

VIRÁG, A. (2012): «Histogenesis of the unique morphology of proboscidean ivory», *Journal of Morphology*, 273, pp. 1406-1423.

VON HAGENS, G., TIEDEMANN, K. Y W. KRIZ (1987): «The current potencial of plastination», *Anat. Embryol.*, 175, pp. 411-421.