

Monte Buciero 9

La conservación del material arqueológico subacuático

ISSN 1138-9680



Excmo. Ayuntamiento de Santoña
Comisión de Cultura
Casa de Cultura de Santoña
2003

© Ayuntamiento de Santoña

© Los autores

Director: Rafael Palacio Ramos
Casa de Cultura de Santoña

ISSN 1138-9680

D.L. SA-242-1998

Imprime: Imprenta J. Martínez, S. A.

Hasta el momento, el mundo científico español adolecía de una obra que recogiera, a modo de manual, soluciones a los numerosos problemas que plantea la conservación de los materiales arqueológicos sumergidos; la falta de este manual era una gran carencia señalada por los profesionales de la restauración y conservación arqueológica. La explicación para la inexistencia de esta obra pudiera estar más en la complejidad técnica y de coordinación que tiene el allegar los distintos trabajos que en aspectos económicos, puesto que los autores los entregan de manera desinteresada.

La idea ha contado con el máximo interés por parte de la Subdirección General de Protección de Patrimonio Histórico del Ministerio de Cultura, cuyo titular D. Luis Lafuente Batanero ha entregado un texto especialmente escrito para la ocasión, así como del Parlamento de Cantabria y de la Consejería de Cultura, Turismo y Deporte del Gobierno de Cantabria, siempre sensibles a las demandas culturales de instituciones y ciudadanos.

A todos ellos, nuestro agradecimiento.

María del Puerto Gallego Arriola
Alcaldesa de Santoña

En cualquier actividad del ámbito científico, la divulgación, la celeridad y la eficiencia con que se dé a conocer a los interesados el tema objeto de estudio es clave. Esta premisa fue la que nos llevó, ya en 1998, a editar la revista *Monte Buciero*.

Creo que hemos seguido manteniendo el mismo espíritu y objetivo que inspiró aquel primer número: dar a conocer en los ámbitos académicos y científicos aspectos sobre la historia y el patrimonio (natural y cultural) de Santoña y su comarca, sin renunciar al gran público interesado en ellos.

Y de nuevo debemos expresar nuestro más caluroso agradecimiento a los autores de los trabajos que les presento, que de manera desinteresada han empleado buena parte de su tiempo en plasmar las conclusiones de sus trabajos, todos ellos inéditos.

Tirso Hortigüela Yuste
Presidente de la Comisión de Cultura

SUMARIO

| | Pág. |
|---|------|
| <i>Introducción</i> | |
| Carmelo Fernández Ibáñez y Rafael Palacio Ramos | 11 |
| <i>Presentación</i> | |
| Prof. Piero Gianfrotta | 15 |
| | |
| I. Aspectos generales | |
| <i>Patrimonio Cultural Sumergido: investigar y conservar para el futuro</i> | |
| Manuel Martín-Bueno | 21 |
| <i>Líneas de actuación para una eficaz protección del Patrimonio Arqueológico Sumergido</i> | |
| Luis Lafuente Batanero | 63 |
| <i>La conservación del material arqueológico subacuático. El arqueólogo y el restaurador ante las primeras intervenciones</i> | |
| Carmen Pérez de Andrés | 83 |
| <i>El entorno marino de los restos arqueológicos</i> | |
| Gerardo García-Castrillo Riesgo, Paloma Lanuza Alonso y Pablo López García | 95 |
| <i>Metodología de la arqueología subacuática</i> | |
| Carlos León Amores | 109 |
| <i>Bibliografía española comentada sobre conservación y restauración de materiales arqueológicos de procedencia subacuática</i> | |
| Carmelo Fernández Ibáñez | 127 |
| | |
| II. Los Centros de Investigación | |
| <i>Panorama del Museo Nacional de Arqueología Marítima y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Subacuáticas</i> | |
| Iván Negueruela | 149 |
| <i>El Centro de Arqueología Subacuática de la Comunidad Autónoma andaluza y la conservación del material arqueológico</i> | |
| Carmen García Ribero y Luis Carlos Zambrano Valdivia | 189 |
| <i>El Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya (CASC)</i> | |
| Xavier Nieto | 205 |
| | |
| III. Alteración, recuperación y técnicas de conservación | |
| <i>La conservación de la madera en arqueología subacuática. Museo y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Subacuáticas</i> | |
| Juan Luis Sierra Méndez | 225 |
| <i>La degradación del hueso</i> | |
| Ana Bouzas Abad y Ana Laborde Marqueze | 267 |
| <i>La alteración del hierro por sales. Ayer y hoy. Problemas y soluciones</i> | |
| Carmelo Fernández Ibáñez | 277 |
| <i>Las sales y su incidencia en la conservación de la cerámica arqueológica</i> | |
| Carmelo Fernández Ibáñez | 303 |
| <i>Deterioro de vidrios en medio submarino</i> | |
| Noemí Carmona, Manuel García, Cristina Gil, M ^a Ángeles Villegas | 327 |

| | |
|--|-----|
| <i>Moldeados y reproducciones. Problemática bajo el agua</i> Luis Carlos Zambrano Valdivia | 351 |
| <i>Instalación de un laboratorio de restauración de materiales de procedencia subacuática</i> Carlos Gómez-Gil Aizpurúa | 371 |
| IV. Problemas y soluciones contrastadas: puertos, poblados y naufragios | |
| <i>Los pecios de Cala Culip (Girona) y Castelldefels (Barcelona). Excavaciones en aguas interiores: La Draga de Banyoles (Girona), Iesso de Guissona (Lleida) y Can Guardiola de Terrassa (Barcelona)</i> Anna Jover i Armengol | 381 |
| <i>Problemática y situación actual de la arqueología subacuática en la bahía de Cádiz</i> Josefa Martí Solano y Nuria E. Rodríguez Mariscal | 397 |
| <i>El poblado neolítico de La Draga. Experiencias de recuperación y primeras medidas de conservación de materiales arqueológicos en un medio lacustre</i> Julia Chinchilla | 417 |
| <i>Planificación de las excavaciones arqueológicas en sedimentos inundados; la experiencia del centro de estudios ARKEOLAN</i> M ^a Mercedes Urteaga Artigas y M ^a Antonia Gereñu Urzelai | 431 |
| <i>Método de extracción de los materiales hallados en el puerto de Irún (Oiasso)</i> Giorgio Studer | 459 |
| <i>Deterioro postexcavación e intervención de conservación en piezas de los pecios Guadalupe, Tolosa y Concepción (Exposición Huracán 1724)</i> Joaquín Barrio Martín | 469 |

INTRODUCCIÓN

Rafael PALACIO RAMOS
Carmelo FERNÁNDEZ IBÁÑEZ

Si hay algo que podemos considerar como cierto es que tanto la Restauración como -sobre todo- la Conservación constituyen facetas de una enorme importancia para el conocimiento del pasado humano. De forma incomprensible hay quienes, sin restarles importancia, no las tiene por tan preeminentes, y no cabe duda de que se encuentran en un error.

El conocimiento de la antigüedad nos lo proporciona la analítica reflexiva y empírica de los objetos recuperados mediante los trabajos arqueológicos; su relación con el hombre, entre ellos, con el medio... y cómo no, el análisis del propio objeto. El ser humano los ha fabricado utilizando las materias a su alcance, pero todo ello y según el único modo de vida que conocemos tiene un fin más o menos lejano. La materia, ya sea viva o inerte, sufre grandes transformaciones con el tiempo: en unos casos la llamamos muerte, en otros, alteración.

Una vez fuera de la tierra o del agua, las condiciones que durante tantos siglos han conformado el medio ambiente de los objetos y los han mantenido más o menos estables se ven inexorablemente alteradas. Entonces, si la mano de la ciencia no interviene, los objetos desaparecen o quedan irremediablemente mutilados, perdiéndose con ellos toda la información que pudieran aportarnos. Por ello, es muy importante prever e intervenir, tanto a pie de excavación como en el propio laboratorio del museo. No olvidemos que entre la variada gama de actividades y responsabilidades que estos centros tienen, la Conservación es y será la primordial y más importante. Sin los objetos, facetas tales como la didáctica, el conocimiento, la educación y un amplio etcétera, simplemente no existirían.

Estas reflexiones y las diferentes formas de intervención sobre las materias que conforman los objetos motivo de estudio, son hoy en día de inexcusable aplicación a los materiales exhumados, tanto en tierra como en el fondo de los mares, lagos y ríos. Para su mejor conocimiento, nuestro país comienza a contar con material bibliográfico referente a los trabajos de campo y laboratorio, aunque se trate de un tipo de investigación desgraciadamente muy reciente. Se ha escrito poco y aún se ha investigado menos sobre las actuaciones bajo el agua. De hecho este libro constituye el primer monográfico que se publica en España, a partir del cual esperamos que empiecen a proliferar este tipo de proyectos.

Las diferentes materias que conforman los objetos que hallamos bajo el agua, se comportan en general de manera diferente a como lo hacen en tierra. Las condiciones son más extremas y hostiles y en consecuencia todo queda magnificado, desde los diferentes grados de conservación hasta las alteraciones y sus consecuencias. Llegados a este punto creemos que la madera supone un buen ejemplo de lo que acabamos de decir, puesto que su hallazgo es común en el agua, lo contrario de lo que ocurre en tierra. Su conservación a nivel de estabilidad y cara al futuro, aún presenta grandes y cos-

tosos problemas en todos los sentidos. Y eso sin tener en cuenta los que ya han tenido que ser solventados en cuanto a su excavación, extracción y conservación de forma preventiva.

Toda esta problemática, tanto en la fase de recuperación como en la posterior de tratamiento y conservación, se ve incrementada por la evidente falta de especialistas. Éste ha sido uno de tantos obstáculos a los que nos hemos tenido que enfrentar a la hora de acometer esta obra, es decir, hallar profesionales lo suficientemente experimentados como para que pudiesen afrontar con éxito los temas que conforman el índice, aportando experiencias propias y novedosas sobre el tema. Otros autores y por cuestiones que no vienen al caso, se quedaron lamentablemente en el camino pese a los deseos de ambas partes. Ante esto y lo dicho con anterioridad, no nos queda sino permanecer perplejos ante una realidad que se traduce en la penosa situación actual, pese a contar con un abultadísimo Patrimonio Sumergido, diseminado a lo largo de 3.160 km, sólo en lo que a costa peninsular española se refiere. Deseamos y abogamos porque esta situación cambie, y este libro intenta ser un nuevo contrafuerte para este propósito colectivo.

El arqueólogo hoy en día no puede ni debe plantear ninguna empresa de excavación bajo las aguas sin haber asegurado previamente la perfecta recuperación, conservación preventiva y posterior tratamiento de todos los objetos recuperados. Esto entre otras cosas quiere decir que es a todas luces imprescindible la presencia de un conservador-restaurador que dirija y coordine con el resto del equipo científico la extracción y el cuidado de los materiales arqueológicos.

A esa pervivencia del legado histórico y arqueológico es a lo que intenta contribuir este libro. Debemos felicitarnos por la posibilidad de llevarlo a cabo, gracias a las facilidades y al apoyo moral y material que en todo momento ha prestado el Ayuntamiento de Santoña, decidido en su apuesta por la conservación del Patrimonio. No menos agradecidos estamos a los autores; todos ellos aceptaron nuestra propuesta de forma altruista y desinteresada, haciendo un hueco entre sus múltiples ocupaciones para redactar sus respectivos trabajos, sabedores de que en nuestro país son necesarias obras colectivas de estas características. No es más que una muestra del compromiso tanto profesional como moral que sienten hacia la conservación del Patrimonio en general, y el subacuático en particular, que todos ellos conocen en profundidad.

Este proyecto, cuya realización acariciábamos hacía ya muchos años, lo hemos llevado a la práctica puesto que ningún centro especializado de nuestro país se había decidido a acometerlo en este tiempo. Sentíamos que inexcusablemente debía publicarse una monografía de estas características, sobre la cual no se conocen precedentes en España. El único y último objetivo de este trabajo ha sido la preocupación por nuestro patrimonio y su conservación, no sólo de cara a su estudio actual, sino también como parte de nuestro legado al futuro.

PRESENTACIÓN

Prof. Piero GIANFROTTA
Universita della Tuscia

La exigencia de una adecuada conservación de la madera de las naves antiguas no es sólo un tema reciente, tiene raíces muy lejanas, ligadas a recuerdos de navegaciones míticas. En la Atenas del siglo V a.C., por ejemplo, se conservaba todavía la nave con la que se pensaba que Teseo fue a Creta para sustraer de la voracidad del Minotauro a los jóvenes atenienses entregados como rehenes a Minos. Marcial (*ep.* VII, XIX) da noticia de la presencia en Roma de una verdadera reliquia de la nave Argos, expuesta a la admiración pública en el *Porticus Argonautarum*, correspondiente al lado occidental de la *Saepta Iulia*, en el Campo de Marte. Probablemente, tras la victoria naval de Actium, había sido cogida del templo de Poseidón en el Istmo de Corinto donde se conservaba aquello que se creía fuera el casco de la citada nave Argos (Dio Crisost., *Orat.* XXXVII, 15). Siempre en Roma, cerca del Tíber, se conservaban todavía perfectamente, en el siglo VI d.C., los restos (descritos de Procopio, *B.G.* IV, 22) de una nave que se pensaba fuera de la que desembarcó Eneas en Italia.

Independientemente de la improbable veracidad histórica de las atribuciones, pueden considerarse creíbles las noticias de estas conservaciones antiguas de restos navales. Entre ellas, merece especial atención la información de Plutarco a propósito de la nave de Teseo, desde el momento que informa también del antiguo debate metodológico sobre los problemas de la conservación naval.

El procedimiento adoptado por los atenienses para conservarla consistía en ir sustituyendo los tablones que se iban deteriorando por otros idénticos pero más robustos. En este sentido, explica el historiador (*Vita di Teseo* 23,1), «le navi fornì ai filosofi un esempio vivente per la questione molto discussa se le cose, con il passare del tempo, rimangono le medesime o mutino; alcuni sostenevano che la nave era rimasta la stessa, per altri era diventata un'altra».

La cuestión no era fútil, aunque es verdad que para las embarcaciones conservadas desde antiguo y poco a poco completamente rehechas como consecuencia de la progresiva manutención los juristas romanos, en algunos casos discutidos, llegaron directamente a plantear el problema de su verdadera identidad jurídica.

Hoy día el problema, que está en la base de la moderna concepción de la conservación y de la restauración, subsiste todavía, pero no es solamente un argumento filosófico. Al menos, por lo que respecta a la conservación de los

antiguos fragmentos de madera navales, que están teniendo solución gracias a la moderna conquista científica y tecnológica, que permiten diagnósticos concretos e intervenciones de conservación realizables sin llegar a alteraciones sensibles de las manufacturas originales.

Como es sabido, el ambiente acuático, particularmente el marino, donde la vida biológica es más intensa, es notablemente agresivo respecto a los objetos que contiene. Los efectos son más o menos intensos de acuerdo con las características ambientales, entre las que el grado de salinidad y acidez, la temperatura y sus variaciones, las sales minerales, el movimiento de los agentes erosivos, microorganismos, fauna, flora y otros, influyen sobremanera.

Para los cascos de embarcaciones antiguas, un notable impulso a la investigación y a las aplicaciones para su conservación se deriva directamente de los descubrimientos y de las recuperaciones de la arqueología subacuática. Al menos, por lo que respecta al problema de la conservación de las maderas navales antiguas, ya está resuelto gracias a un mayor acercamiento entre ciencias históricas y ciencias naturales, como la física, la química, la microbiología, geología, petrografía, dendrocronología, etc.

Los progresos tecnológicos han facilitado un notable aumento del conocimiento junto a la disponibilidad de nuevos materiales, tipos de análisis y más raramente nuevos laboratorios aplicables al tema.

Por otra parte, las intervenciones arqueológicas pueden atestiguar una vasta gama de situaciones para los hallazgos, de ambientes muy diversos entre ellos, según mares (altas diferencias de temperatura y salinidad entre ellos y otros casos), lagos, ríos, zonas pantanosas o húmedas, áreas portuarias, etc. Según las circunstancias ambientales puede ser extremadamente variado el grado de conservación de cada material que, obviamente, reacciona en forma diferente; su comportamiento debe tenerse en cuenta a la hora de articular soluciones y tratamientos específicos por parte de los arqueólogos.

Las materias orgánicas son siempre las primeras en desaparecer, atacadas por microorganismos, lo mismo que ocurre con la madera destruida por moluscos xilófagos como el teredo (que no se llama *teredo navalis* por casualidad). Los metales están sujetos a corrosión por reacción electrodinámica y están particularmente expuestos a la formación de concreciones. Incluso la piedra y más aún el mármol es atacado y consumido por los litófagos, como los que, por ejemplo, se comieron partes más o menos importantes de las estatuas de mármol en los cargamentos de obras de arte recuperadas al inicio del siglo pasado en Anticitera (Grecia) y Madhia (Túnez) o lo que emergía del fondo marino de las estatuas que decoraban los nichos laterales del ninfeo imperial sumergido en Baia (Nápoles).

Mucho mejor reaccionan, en general, las cerámicas, una vez finalizado el proceso de desalinización (por ejemplo la vajilla sudgálica de Culip IV), pero no conviene olvidar que hay muchos factores que influyen y pueden, eventualmente, complicar la conservación posterior.

Como en tierra, más aún en el agua la excavación arqueológica interrumpe un complejo equilibrio que se ha establecido en el periodo más o menos largo de su permanencia bajo el agua y por ello muchas veces la supervivencia de aquello que se va descubriendo depende de la validez del método con el que se interviene y de las técnicas utilizadas, ya sea en un primer momento o en fases sucesivas. Se podría decir «del agua al museo», pasando gradualmente de la recuperación, a los tratamientos de conservación, a la sistematización expositiva en una ambientación adecuada y estable.

En la misma excavación se debe intervenir preventivamente, estableciendo una estructura personal competente y eficiente que se ocupe tanto de la documentación (lo más precisa y amplia posible) como de las condiciones de los hallazgos y de los procesos de conservación, para que se puedan efectuar análisis completos y programar adecuadamente las fases sucesivas, en las que se incluyan de antemano las intervenciones de protección preventiva tanto para las maderas como para el resto de los objetos.

La conservación y la restauración, por lo tanto, van ligadas como en un proceso continuo para prevenir los sucesivos deterioros en pro de la futura conservación: preocupación esencial es la de mantener intactos los anillos de una cadena que no debe ser interrumpida con la excavación y recuperación. Ha sido buena praxis la de no proceder a la recuperación de los cascos de muchos naufragios hasta que no se haya dispuesto de las mejores condiciones -logísticas, organizativas y expositivas- para hacerlo sin correr riesgos (baste recordar los barcos arcaicos de Mazarrón, Gela o la Madrague de Giens, de Ladispoli o de Diano Marina).

La conservación no se refiere únicamente a los naufragios navales aunque allí residan las mayores preocupaciones. Una parte importantísima de los testimonios de la arqueología subacuática se refiere a otras categorías de testimonios, que pueden ser englobados en una heterogénea categoría de lugares sumergidos, total o parcialmente, por modificaciones ambientales drásticas: retirada de tramos de costa (Campo Flegrei, cerca de Nápoles) en el que los lugares costeros de habitación, los emplazamientos perilacustres, o los marítimos, estructuras portuarias, pesquerías, etc., están hoy en un lugar bien distinto al original.

Otras veces hay riesgo de destrucción por la ciega interferencia de actividades humanas que, sin embargo, con soluciones adecuadas, podrían resolverse fácilmente. Un grave problema afecta a las áreas ricas en presencia arqueológica, que se encuentran sujetas a riesgo de destrucción o daños, afectadas por actividades contrarias a su supervivencia. Es el caso de áreas portuarias o de zonas costeras próximas a establecimientos industriales con infraestructuras en el mar o simplemente afectadas por otras actividades que directa o indirectamente afectan a los fondos marinos.

Para comprobar todo esto, uno de los puntos más significativos de la Resolución de Ravello en 1993, retomando principios expresados ya en una precedente Convención Europea, recomendaba «no permitir actos o trabajos que comprometan el patrimonio arqueológico sumergido y solicitar el des-

plazamiento de las instalaciones irreconciliables con las necesidades de su tutela».

Por muchos motivos -sobre todo de carácter económico y social- la actuación de una recomendación similar podría parecer solamente un sueño deseable, pero inaplicable en realidad. Sin embargo, nos vimos agradablemente sorprendidos cuando el área portuaria de Baia (Nápoles) quedó bajo secuestro judicial de la «Procura» de la República de Nápoles el 26/9/2000 a causa de los repetidos daños causados por las naves modernas y sus anclas en las estructuras arqueológicas sumergidas, determinando la irreversibilidad de un proceso gracias al cual el puerto ha sido transformado de comercial en turístico. Como en un sueño se ha llegado a conseguir que buena parte del área haya quedado reservada para parque arqueológico submarino y haya sido adecuado para la visita de los turistas, a satisfacción de todos. Lo que ha ocurrido en Baia puede hacer reflexionar e insistir en las posibilidades y eficacia de algunas actitudes morales, testarudamente mantenidas.

La Convención sobre la Protección del Patrimonio Cultural Sumergido, aprobada por la XXXI Conferencia General de la UNESCO el 2/11/2001, va en este sentido y constituye ahora y luego un paso adelante excepcional para la defensa de un Patrimonio de la Humanidad. Conviene indicar expresamente la necesidad de disponer antes de cualquier excavación de un «programa de análisis y actividades sucesivas en el yacimiento arqueológico» y «para la conservación del sitio» (artículo 10, g-h), a la vez que estaba ya recomendado en el artículo 1 de los Principios Generales la elección de la «conservación *in situ* como primera opción, para mejorar el conocimiento y la valorización del patrimonio cultural subacuático en su contexto».

Tiene éxito para la conservación *in situ* el establecimiento de parques protegidos para las áreas ricas en presencia arqueológica. Cuando esta vía no sea practicable, el naufragio puede ser protegido de varias maneras, y una buena reconstitución en un museo puede reproducir, si no el propio contexto, al menos el conjunto de los hallazgos y su unidad.

Una nueva frontera que se debe afrontar está representada por la posibilidad de efectuar intervenciones de restauración y conservación directamente en el agua. Junto a la protección de los agentes externos (dragados, excavaciones y fondeo de naves) se puede establecer un programa experimental de intervenciones de conservación que persigan la conservación y restauración *in situ*. Gracias a éstas se tendrá ocasión para valorar la efectiva situación de los hallazgos y las interacciones sobre los restos antiguos de todos los variados componentes (de carácter geográfico, geológico y natural), la compatibilidad, la validez de las aplicaciones y la duración de los materiales y procesos puestos en marcha, así como los condicionantes físicos, químicos, y biológicos marinos y de sus múltiples dinámicas.

**PATRIMONIO CULTURAL SUMERGIDO: INVESTIGAR
Y CONSERVAR PARA EL FUTURO**

Prof. Manuel MARTÍN-BUENO
Catedrático de Arqueología, Epigrafía y Numismática
Universidad de Zaragoza

1. Definición y antecedentes.

Empezó recibiendo el nombre de Arqueología Submarina allá por los primeros años del siglo XX¹. Transcurrido mas de medio siglo, tras los acontecimientos de Mayo del 68 que cambiaron tantas cosas en el mundo académico y no sólo en él, pasó a llamarse Arqueología Subacuática en un intento de precisar mejor las cosas y para no dejar fuera a todo el complejo y particular mundo de las aguas interiores, tan importante para muchos países². Por aquellos años algunos intentamos con poco éxito que se denominase simplemente Arqueología³, en un esfuerzo de simplificar y para atenernos a la pureza del planteamiento metodológico de la ciencia en cuestión, la Arqueología.

Conforme fue madurando, llegados ya al último decenio del siglo ido, necesidades de tipo jurídico y normativo hicieron aconsejable utilizar el nombre de Patrimonio Cultural Sumergido, como consecuencia del incremento de la preocupación y atención de gobiernos, administraciones y masa social en general por el mismo. Reconociendo al mismo tiempo que en los últimos años despierta gran interés todo lo relacionado con el Patrimonio Cultural, al que no es ajena la tradicional actividad científica de la Arqueología Subacuática⁴.

Henos aquí considerando por lo tanto, por un lado la misma actividad, Arqueología Subacuática, con un nombre reconocido y aceptado, con hermanas menores pululando a su alrededor, como Arqueología Naval, Arqueología Náutica, etc., y por otro la definición de Patrimonio Cultural Sumergido englobando a su vez y dando cobijo a todo aquel conjunto de elementos materiales y evidencias de actividades realizadas por el hombre en el decurso de su historia. Actividades que han dejado restos capaces de ser estudiados y analizados con fines científicos, de conocimiento histórico, por medio de la Arqueología, ciencia que cuenta entre sus especialidades reconocidas a la Arqueología Subacuática ya mencionada.

Pero realmente: ¿en qué consisten una y otro, Arqueología Subacuática y Patrimonio Cultural Sumergido?. La Arqueología Subacuática, entonces llamada Arqueología Submarina, da sus primeros vagidos hace más de un siglo de forma casi oficial, pero mucho antes de manera no reconocida, cuando se extraen de los fondos marinos, por lo general, objetos antiguos que permiten conocer algo sobre el pasado; que encierran en sí un bagaje de información

en espera de que alguien con la suficiente capacidad intelectual, sea capaz de hacer la pregunta adecuada en el idioma correcto para que esos objetos puedan responder⁵.

Es precisamente ahí, en el momento de iniciarse el diálogo entre objeto e interlocutor cuando da comienzo ese recorrido largo y costoso, el del desarrollo de una ciencia histórica en un medio hasta entonces desconocido para tal finalidad, como es la Arqueología Subacuática. En opinión de quienes estamos ligados a ella de forma intensa y activa, ha de darse la circunstancia de ese intercambio informativo entre objeto o evidencia arqueológica y su interlocutor, para que se pueda hablar de Arqueología. Pero la cosa no queda ahí, la finalidad de ese diálogo debe ser la reconstrucción histórica de un episodio, de un acontecimiento del pasado, en este caso a través de los restos materiales del mismo que fueron a parar a los fondos subacuáticos. En caso contrario, la curiosidad, el afán de lucro u otros factores, no hacen de ese encuentro caldo de cultivo adecuado para poder hablar de ciencia o de historia, estaríamos sencillamente ante simple coleccionismo, tal vez menos que eso.

Esta actividad, entonces todavía sin definir con claridad, fue recibida generalmente con un escepticismo no exento de desinterés por parte del mundo científico, actitud en cierta medida lógica para un campo del que se desconocía todo y parecía estar protegido por una barrera infranqueable, atávica incluso. Por otra parte la recogida, casual las más de las veces, de objetos y restos antiguos de los fondos marinos, no daba información clara del posible contexto a que pertenecían, si éste estaba o no intacto, máxime cuando tenemos que reconocer que esos conceptos de contexto, conjunto cerrado, etc. tuvieron predicamento y se aceptaron de forma generalizada más tarde, también para la arqueología terrestre. Tenemos por lo tanto un desconocimiento colosal por lo que había allá abajo, una vez franqueada la fina línea que separa superficie del mundo de las profundidades, aunque éstas fueran bien escasas muchas veces, había que añadir una arqueología tradicional todavía sin asentar en bases metodológicas sólidas y sin definir con claridad técnicas que hoy resultan familiares pero entonces en buena medida inexistentes⁶.

No debemos olvidar que estamos hablando de la «prehistoria» de la Arqueología Subacuática, de aquella Arqueología Submarina que acababa de ser presentada en sociedad merced a los notables hallazgos de algunos pecios en la costa tunecina o enseguida y más tarde, a mediados de siglo, en la Provenza francesa y Costa Ligur⁷. Si además añadimos que estos descubrimientos eran con frecuencia fortuitos, a cargo de pescadores tradicionales con sus redes y aparejos o por pescadores de esponjas o coral, y que la actividad de recuperación posterior se encargaba en algunos casos a estos mismos o a buzos clásicos, veremos que el panorama no era nada propicio para hacer ciencia genuina.

Hoy nos cuesta reconocer aquellos comienzos que parecen lejanos, pero no es menos cierto que sería una tarea gratificante recuperar las informaciones de primera mano que todavía podemos escuchar en las palabras de algu-

nos de aquellos pioneros aún con nosotros⁸, esperemos que por mucho tiempo. Pero las etapas se cubrirían con lentitud como si el tiempo que rige las cosas de la mar se aplicase con igual firmeza a los descubrimientos subacuáticos con utilidad histórica.

El periodo entreguerras no aportó grandes novedades, la tónica seguía siendo la misma si bien la recuperación de nuevos materiales, la localización de restos de barcos antiguos a los que se daba poco crédito y menor importancia, mantenían al menos un cierto halo de misterio e inquietud, obligando a algunos a reflexionar sobre ese mundo desconocido que reposaba allá, tan cerca y tan lejos de nosotros al mismo tiempo. Habría que esperar a la utilización de los primeros equipos de buceo autónomo, reservados inicialmente al ámbito militar para empezar a vislumbrar posibilidades antes no sospechadas, pero el despertar a la ciencia todavía quedaba lejos.

El logro de una escafandra de buceo autónomo con circuito abierto, hoy le llamaríamos simplemente equipo de buceo, por parte de los franceses J. Y. Cousteau y E. Gagnan en 1943 y el paso del descubrimiento a la vida civil con la patente del mismo en 1946 con el nombre comercial de Aqua Lung⁹, abriría un mundo de posibilidades. Coincidente con la progresión técnica en idéntica dirección por diversas marinas nacionales, rompió de una vez por todas el embrujo de lo desconocido. Entonces fue cuando los primeros y arriesgados buceadores empezaron a utilizar los primitivos modelos comerciales de equipos con dos y tres botellas a la espalda cargadas con aire comprimido en circuito abierto y provistas de un regulador de presión para el suministro de aire al "hombre rana", como se les conocía familiarmente, para que pudiera respirar con normalidad bajo el agua. Allí empezó realmente la historia de la Arqueología Subacuática sin que por ello debamos restar un ápice de mérito a los descubrimientos precedentes, efectuados con tanta fatiga y esfuerzo¹⁰.

La posibilidad de moverse libremente bajo las aguas, la ligereza de movimientos unida a la capacidad para descender a profundidades antes tan sólo soñadas, permitieron entrar en ese "mundo del silencio" que definía J. Y. Cousteau para empezar a conocer lo que encerraba. Primero la grandeza de los paisajes submarinos, seguidamente la excepcional riqueza de su vida exuberante, tanto referida al mundo vegetal como al animal, y finalmente, la posibilidad de darse de bruces con un episodio de la historia del pasado en forma de barco hundido o de vestigios de ciudades desaparecidas por causa de fuerzas naturales u otras razones.

El ser humano comenzó a ser un poco más libre cuando se adentró en ese mundo desconocido que a duras penas logra comprender en su magnitud y posibilidades. Junto a la fascinación por lo desconocido se entreabre la puerta al estudio científico que se abrirá paso rápidamente entre fascinación y asombro para poner las cosas en su sitio, para intentar comprender que una parte importante (eso se sabrá más tarde) de las respuestas a muchas preguntas sobre nuestro origen, evolución, recursos y futuro, se encontraban precisamente allí. Lamentablemente todavía no éramos conscientes de la necesidad de proteger aquel medio tan frágil en su inmensidad y el egoísmo

de la explotación se impuso durante mucho tiempo, demasiado, a la sensatez del estudio para conocer, preservar y explotar racionalmente. Las nociones de: Equilibrio Natural, Ecología o Desarrollo Sostenible todavía no habían encontrado su lugar en el diccionario y mucho menos en la mente colectiva de una sociedad, más tarde bautizada como Sociedad de Consumo¹¹.

Pese a todos los tropiezos, muchos, que jalonan la conquista de los fondos marinos; en primer lugar, gracias a los descubrimientos tecnológicos y al ansia de conocimiento que se despierta con ellos, poco a poco se profundiza más en ese conocimiento, se llega cada día más profundo, hasta que en los albores de los años sesenta el batíscafo Trieste con el oceanógrafo Jacques Picard, consigue descender hasta la depresión oceánica más inalcanzable hasta ese momento, la fosa de las Marianas con sus once kilómetros de profundidad. ¿Hemos llegado al fin?. Ni mucho menos.

La investigación oceanográfica siguió un derrotero propio en el que la Arqueología fue tan sólo y de forma muy esporádica hasta comienzo de los años ochenta, una convidada con carácter de excepción¹². Nuestras metas estaban mas cerca de la superficie, a ellas debíamos encaminar nuestros esfuerzos y así se hizo.

El recorrer los fondos marinos por parte de oceanógrafos e investigadores militares también ha permitido recuperar alguna información válida pero poco abundante, no debemos olvidar la época de la Guerra Fría que aportó poco al conocimiento histórico aunque se dejaron traslucir ciertas informaciones, escasas por tratarse de secretos bien guardados que no debían darse a conocer. Por otro lado los arqueólogos en tierra tenían suficiente ocupación para consolidar una ciencia que experimentaba cambios importantes y que debía redefinir su postulado metodológico, así como su misma identidad. Encorsetada en estrechos límites cronológicos y culturales, muy proclive a mantener criterios y estructuras que convinieran con las ciencias históricas más tradicionales, empezaba a sufrir algunos embates de quienes desde posturas netamente antropológicas querían rediseñar el panorama futuro. Mientras la Arqueología Subacuática seguía siendo algo sumamente anecdótico a lo que ni se daba ni quitaba importancia, simplemente se ignoraba en el mejor de los casos.

Debemos a la irrupción de otras gentes, los buceadores deportivos, por lo general denominados así, el inicio por el interés hacia los restos materiales del pasado. El descubrimiento de los primeros campos de ánforas en el Mediterráneo fue toda una revolución. Si antes de la escafandra autónoma ya se conocían algunos, ahora se reconocían por doquier, nuestro mar interior parecía una gran escombrera salpicada de restos de navegación antigua en los que había un protagonista indiscutible, el ánfora. Aquel modesto pero rotundo contenedor industrial para transporte de productos alimenticios: vino, aceite, pescado en salazón, salsas, etc., parecía haber sido el único motivo y justificación para la navegación antigua, tal era su abundancia. Los nuevos exploradores, los buceadores deportivos empezaron una larga tarea de localización e información y lamentablemente también de destrucción de infinidad de yacimientos sumergidos, por ignorancia en la mayor parte de las

ocasiones y porque el volumen de descubrimientos superaba la capacidad de asimilación aunque hubiera existido voluntad de hacerlo por parte de la ciencia oficial, todavía muy alejada de esta nueva realidad.

A veces se ha intentado justificar esta ausencia de arqueólogos en los primeros momentos de la investigación arqueológica subacuática pero sin demasiado énfasis. Hoy podemos afirmar con pocos resquicios para el error, que era una situación lógica. Una actividad que partía de la base de la exploración subacuática, con la utilización de unos recursos técnicos y materiales, que estaban a disposición de muy pocos, para cuyo uso se exigían unas facultades físicas, similares a las de los atletas, era algo que no estaba al alcance de todo el mundo y sin duda un poco menos al de los arqueólogos e historiadores más dados a actividades sedentarias que a las que requerían una notable preparación física¹³. Por ello no es de extrañar que fueran precisamente esos deportistas agrupados en clubes de pesca submarina en un principio, quienes se arriesgaran entusiásticamente a utilizar los primeros equipos de buceo autónomo y se lanzaran a la exploración submarina; luego vendría el resto.

Los primeros hallazgos terminan por lo tanto, o bien en manos de buceadores o en poder de las autoridades y dependencias de las marinas nacionales, ya que todos los asuntos relacionados con la mar estuvieron supeditados y controlados desde tiempo inmemorial por la autoridad militar (todavía lo está en muchos países lo que significa un lastre evidente) cuya preocupación por el conocimiento científico, por la historia que pudieran encerrar aquellos restos que empezaban a menudear era mas bien mala. Fue una época de abundantes descubrimientos y de infinidad de pérdidas de materiales y sobre todo de información. Bien es cierto que algunas veces se hacía llegar esta información y algunos objetos recuperados a museos o ámbitos académicos, pero no es menos cierto que el desinterés o el escepticismo con que se acogían con frecuencia, superaba las fronteras de lo normal ejerciendo un efecto rechazo en quienes de buena voluntad se acercaban a esas "cunas del saber" con buenas intenciones.

El proceso fue sencillo, en primer lugar se producen los hallazgos aislados por pescadores de coral, redes, pescadores de esponjas, pescadores submarinos en apnea e incluso buzos clásicos y luego finalmente por los primeros buceadores con equipos autónomos que marcan el salto cuantitativo que da paso a una realidad nueva con la sospecha de la existencia de una parte de la Historia sumergida bajo las aguas en espera de que alguien vaya a encontrarse con ella. Una segunda fase estaría marcada por la aproximación de buceadores con sus materiales a las instituciones oficiales, facilitándolos y al mismo tiempo aportando una somera información, generalmente escasa, incompleta (muchas veces deliberadamente incompleta cuando no falsa), que empieza a hacer mella en los receptores. Seguirá una aproximación mayor con arqueólogos o historiadores siguiendo de cerca operaciones de recuperación de materiales e incluso proporcionando directrices a los que se sumergían, bien fuera desde tierra o a bordo de embarcaciones¹⁴. Finalmente, de forma generalizada desde la mitad del siglo XX, pero con más fuerza desde inicios de los años setenta, en que alguno de los arqueólogos de la nueva

generación que se incorporan a la investigación deciden ver con sus propios ojos qué es lo que ocurre "allí abajo" y adecuadamente equipados y con la preparación técnica suficiente en materia de buceo y las titulaciones y permisos administrativos correspondientes, dan comienzo a lo que hoy es una flamante especialidad científica dedicada a la elaboración de capítulos de la historia a partir de los restos sumergidos, la Arqueología Subacuática. En ese largo recorrido, no exento de dificultades, nombres como los hermanos Frederic y Roland Dumas con su obra *Epaves Antiques* de los años cincuenta, N. Lamblogia, o más tarde G. Bass con *Underwater Archaeology* ya a inicios de los sesenta constituyen los verdaderos cimientos de una ciencia en plena expansión que se ha extendido sin limitaciones geográficas, cronológicas o culturales. Nombres como: *Nemi*, *Madrague de Giens*, *Vasa*, *Mary Rose*, *Kyrenia*, *Port Royal*, y un largo etcétera que ya son historia son la prueba mas palpable de lo dicho.

Hoy la Arqueología Subacuática es una realidad reconocida que se ocupa de la investigación de los restos materiales del pasado, estructuras terrestres sumergidas por causas diversas, embarcaciones de todo tipo, objetos materiales aislados arrojados o perdidos en los fondos de mares, ríos o lagos, estructuras de ingeniería, obras portuarias, depósitos rituales en pozos sagrados como los cenotes, zonas de fondeo, astilleros y tantos otros que constituyen la base de estudio principal, junto con todos los elementos anejos que permiten su comprensión total. Todo ello y su contexto, el medio en que reposan y las modificaciones y alteraciones del mismo, etc. constituye lo que en términos modernos entendemos como Patrimonio Cultural Sumergido. Todo vestigio de la acción humana que constituye un recurso cultural para conocer mejor nuestro pasado y el proceso de evolución cultural, material o técnica recorrida por la Humanidad desde que se asienta sobre la Tierra. Ese término más general, hoy con un significado mucho más amplio que hace unos pocos decenios es el objeto de estudio de la Arqueología Subacuática. Por tanto disponemos de dos definiciones que son complementarias, por un lado el objeto de estudio, el Patrimonio y por otro la ciencia que se ocupa de ello, la Arqueología, en ambos casos con el apellido Sumergido para el primero o Subacuática para la segunda. La aceptación general de Patrimonio Cultural mejor que Patrimonio Histórico es una realidad fruto de la evolución más reciente, aunque en algunos países con una tradición y un peso específico grande de la Historia, se prefiera, y así se refleja en la legislación nacional española, hablar de Patrimonio Histórico¹⁵.

La preocupación internacional por este patrimonio y la conciencia de que era necesaria su protección a toda costa llevó a organismos internacionales como el Consejo de Europa en los años ochenta y recientemente a la UNESCO en el 2001 a proponer y sacar adelante una Convención para la Protección del Patrimonio Cultural Sumergido¹⁶. Con ello la Arqueología Subacuática ha empezado a ganar una batalla de la larga guerra que se mantiene por la protección de este patrimonio con fines de investigación y aprovechamiento cultural y educativo, en oposición frontal a quienes defienden su explotación comercial.

Objetivos

La actitud hacia este patrimonio, cuya singularidad reside únicamente en el medio en que se encuentra, ha variado sustancialmente en el último medio siglo en el que encerramos casi toda la historia de la Arqueología Subacuática. Los inicios fueron difíciles ya que la inexperiencia en la metodología a aplicar y la ausencia de técnicas hoy habituales, supusieron un lastre importante que motivó no pocos fracasos en forma de materiales recuperados y perdidos al poco tiempo por falta de respuesta a las situaciones nuevas que se planteaban, sobre todo en el campo de la conservación.

El objetivo en los comienzos fue sencillamente la recuperación de objetos de los fondos marinos para en superficie estudiarlos y eventualmente depositarlos en museos o colecciones. Con esta sencilla premisa se procedió sin más bagaje ni experiencia que la intuición, no olvidemos que gran parte, por no decir la casi totalidad de los que llevaban a cabo tales operaciones hasta mediados del pasado siglo eran legos en materia de Arqueología, a recuperar cuantos más objetos mejor, a hacer unas cuantas fotografías en el momento en que se dispuso de equipos adaptados o protegidos contra el agua y la presión y tal vez unos sencillos croquis de posición para poder regresar más tarde al mismo lugar.

La descontextualización de los hallazgos, la inexperiencia en la manipulación de los restos, así como el incipiente tráfico comercial que se estableció enseguida, significó en poco tiempo una pérdida irreparable de numerosos conjuntos que hoy día tan sólo son un recuerdo borroso. Seguiría un interés por la clasificación del objeto rey, el ánfora, que menudeaba por doquier y a la que pronto se dio importancia elaborando las primeras tipologías de las mismas, llegando más tarde a interesarse por otros objetos, más pequeños y difíciles de distinguir y finalmente a los restos de estructuras de barcos que en principio se había pensado no se conservarían. Aquí empezaron a agudizarse los problemas.

Tenemos por tanto un primer periodo en que el objetivo primordial, casi el único, es la recuperación de objetos, muchos perdidos luego en una dispersión incontrolada o destruidos por la incapacidad para comprender los factores de alteración inherentes a su condición de objetos y estructuras sumergidos en medio acuático, sobre todo salino. Curiosamente en esta época, reducida la actividad casi por completo al Mediterráneo, se llega a considerar como inexistente otra posibilidad, cerrando los ojos a todo lo que no fueran evidencias de la navegación de época antigua, es decir el mundo griego y romano sobre todo. Esta tendencia estaba acompañada en gran medida por la misma consideración, bien escasa, que tenía en la arqueología terrestre todo aquello que trascendiese de los estrechos márgenes, espléndidos por otra parte, de la Arqueología Clásica.

Un segundo periodo está marcado a nuestro juicio por una valoración positiva de la necesidad de disponer de una metodología apropiada y sobre todo de técnicas que logren salvar el escollo del medio en que se encuentran

estos yacimientos. Esta sensación positiva unida al mayor conocimiento y generalización de la práctica del buceo, que empieza a ser tenida en cuenta por el mundo científico de la Arqueología, determina la apertura hacia una realidad palpable, la de la necesidad de incorporar estos yacimientos a la rutina investigadora, acercándolos en consideración a los terrestres. Pero todavía estamos muy alejados de una total normalización.

La necesidad de acercarse con finalidad constructiva, mediante el estudio, a este nuevo campo de actuación, el de los yacimientos subacuáticos, hace por un lado que se deba reflexionar sobre el abanico de posibilidades que ofrecen. Ya se es consciente de que no son solamente barcos hundidos los objetivos a conseguir, son también instalaciones portuarias, poblados o ciudades incluso y para terminar hasta yacimientos prehistóricos que el azar del destino y los cambios climáticos y geomorfológicos han hecho que queden sumergidos. Todo ello provoca una reacción positiva, pero hoy sabemos que desmesurada, en un ejercicio en el que el castizo término español, "matar moscas a cañonazos" se puede aplicar sin complejos. El paradigma de este aserto es el trabajo que lleva a cabo el entonces joven investigador estadounidense Georges F. Bass, con la Fundación Esmitsoniana en aguas del norte de Chipre, en Kyrenia y en las turcas de Yassi Ada¹⁷. Allí se pone por primera vez a disposición de la nueva Arqueología Subacuática, todo un despliegue tecnológico sin precedentes (y también sin consecuentes) que lleva a instalar en costosísima operación, todo un utillaje de ensueño (hoy sabemos que también de fantasía), compuesto por una delimitación del campo de trabajo con estructuras metálicas muy pesadas, torres fotográficas móviles, pesadas bombas de succión, plataforma de superficie de grandes dimensiones capaz para albergar los motores de las bombas, equipos de iluminación con grandes focos submarinos, cabina telefónica sumergida para comunicar con superficie, submarino de bolsillo para seguir los trabajos y un largo etcétera que nos hace entrar en un mundo fantasmagórico muy acorde con el ambiente coetáneo de ciencia espacial que se destilaba a través de los proyectos de la NASA, tan influyente en la opinión pública.

Las excavaciones fueron un éxito y la metodología funcionó, las técnicas respondieron, pero el costo económico no era fácilmente asumible en campañas sucesivas y los problemas de mantenimiento, reparación y seguros de aquellos equipos técnicos de alto nivel de sofisticación desaconsejaron la continuación por aquella vía y pocos años más tarde pasaron a engrosar los fondos del Museo de Bodrum como objetos que permitían explicar el nacimiento de una ciencia¹⁸. Esta reflexión la podemos hacer, al igual que los propios interesados, como fruto de la experiencia y ello es una prueba evidente de la rapidez con la que ha ido evolucionando esta especialidad científica. Tan sólo la primera.

Los proyectos del equipo norteamericano de G. F. Bass, ahora y desde entonces desde la INA de la Texas A&M University, han marcado una de las líneas evolutivas de la Arqueología Subacuática con letras capitales. Por otra parte el Mediterráneo Occidental, la costa francesa, española e italiana empezaba a dar sus frutos, sobre todo desde el lado francés con centro en

Marsella y también desde el Instituto de Estudios Ligures de Bordighera con N. Lamboglia, pionero y entusiasta hasta su temprana y trágica desaparición.

En estas reflexiones que no pretenden hacer una historia completa de la actividad debemos verificar una constante. Hemos contemplado trabajos realizados sobre navegación antigua pero se empezaba a notar una ausencia palpable de restos de otras épocas, incluso más recientes, que por el momento quedaban fuera de la atención o la recibían de carácter diferente, que abría el camino a la búsqueda comercial de restos, tal es el caso de los incipientes cazadores de tesoros en el continente americano e inmediatamente en otras aguas.

La entrada en el panorama general de restos bien conservados, en este caso de barcos, en el norte de Europa y aguas atlánticas o del Báltico: como los casos del *Vasa* en el puerto de Estocolmo, recuperado en los años sesenta¹⁹, el *Mary Rose* en el sur de Gran Bretaña²⁰, el grupo de barcos vikingos de Roskilde en Dinamarca y poco después la *Coca* medieval de Bremerhaven en Alemania así como las embarcaciones de la marina fluvial romana hallados en Mainz, seguidos de hallazgos en los lagos suizos, etc. empezaban ya a darnos un panorama mucho más completo y real de una especialidad científica que debía considerar ya por la fuerza de los hechos que era necesario integrar esta Arqueología en el contexto general de la misma con sus características especiales y sus técnicas apropiadas, pero con un rango por lo menos igual en importancia a los hallazgos y proyectos de estudio realizados en tierra.

Para nosotros es en este periodo en el que se evoluciona a marchas forzadas y se adquiere la madurez necesaria para encarar el futuro con posibilidades de éxito. Esta situación se produce cuando se asume la necesidad de prestar atención preferente a dos aspectos principales. Por un lado la necesidad de profundizar intensamente en la conservación y restauración de los materiales y restos procedentes de medios acuáticos o húmedos, saturados en aguas, disponiendo de los laboratorios adecuados para ello y por otra cuando se acepta la necesidad de entender la Arqueología Subacuática (lo mismo que la Arqueología terrestre) como una ciencia histórica sin límites cronológicos ni espaciales. Sólo entonces se está en condiciones de programar un futuro cargado de éxitos en el que junto a la investigación se logre entender y hacer comprender la necesidad de reintegrar estos estudios y los frutos materiales de los mismos, a la sociedad que los soporta y financia.

Un tercer periodo nos lleva directamente hasta el presente en que se observa una nueva tendencia que analizaremos luego. En este periodo el progreso más espectacular no ha residido solamente en los grandes hallazgos producidos con la extensión de la actividad, notablemente consolidada y estructurada por gran parte del mundo (aunque el camino por recorrer todavía es largo y desigual), sino en la consecución de métodos de conservación de materiales, sobre todo orgánicos, la gran asignatura pendiente en muchos lugares, que han ofrecido la posibilidad de recuperar y exponer al aire, restos de embarcaciones antiguas de madera, a veces embarcaciones completas de gran porte, como los míticos *Vasa*, *Mary Rose*, pero no están solas, ya que

las naves de Commachio, Marsala, Fiumicino, Mainz, Bremerhaven, Lago Tiberiades, Canal Olímpico de Barcelona, Pisa, fenicias de Mazarrón en España y un dilatado etcétera, constituyen ya un bagaje de realizaciones o proyectos que cambian radicalmente el panorama actual y futuro.

El descubrimiento de las técnicas de tratamiento de las maderas empapadas significó un antes y un después del problema. La recuperación del *Vasa* no hubiera sido posible sin la aplicación de un tratamiento que con éxito abrió un camino todavía en evolución pero que se admite sin duda como positivo. El reto de tener que resolver el gran problema de una masa tal de madera, sin desmontar el barco y tratarla por separado, como es el caso del *Vasa* marcó la asunción de un riesgo sin precedentes que seguramente hoy no se volvería a asumir en circunstancias semejantes. Siguió el *Mary Rose* pero se interrumpió en cuanto a grandes navíos se refiere. Son más los problemas inherentes al proceso y a la conservación posterior, siempre bajo vigilancia en espera de las inevitables crisis de estabilidad de todo proceso químico, que parece desaconsejable emprender operaciones semejantes y así se admite internacionalmente. No obstante la aplicación del ya mítico PEG sirvió para que gran parte del público pudiera comprobar con sus propios ojos que lo que se decía de barcos recuperados de los fondos marinos, de la Arqueología Subacuática como ciencia capaz de transportarnos a ese pasado para observar una "cápsula de tiempo" en término que ha quedado firmemente acuñado, era realidad y que todos los esfuerzos que se hicieran en aquella dirección eran positivos. Sin duda la labor educativa para la concienciación ciudadana y su apreciación por los temas arqueológicos e históricos, ha tenido y tiene un firme apoyo en proyectos estrella como los referidos, por el gran atractivo que suponen para la opinión pública que suele reaccionar muy positivamente.

La última etapa, la que estamos viviendo ahora, podemos decir que se inicia a fines de los años ochenta cuando se produce un despertar a la actividad en muchos países de manera ininterrumpida, al mismo tiempo que se intenta crear una conciencia colectiva entre arqueólogos y responsables para intentar administrar adecuadamente ese singular patrimonio. Es el período en el que debido en gran medida a la difusión inmediata de las informaciones de nuevos hallazgos, que sin duda interesan a la sociedad, son difundidas por los medios con gran rapidez, no exenta con frecuencia de inexactitudes, cuando no verdaderas exageraciones y tergiversaciones de la realidad, sembrando la duda y la incertidumbre en muchos sectores.

Es un periodo en que se admite casi sin discusión que la Arqueología Subacuática no tiene porqué constituir algo tan específicamente diferente de la Arqueología en general hasta el extremo de que la haga distinta, mas bien al contrario, se aplica la misma metodología, con técnicas distintas a veces que salvan las diferencias, pero se considera el yacimiento subacuático en cuanto al lugar y medio en que se encuentra, como un mero accidente que no tiene porqué alterar el criterio metodológico, único, de aproximación a esa historia, en este caso sumergida. La definición del arqueólogo subacuático, como: "Aquel arqueólogo que necesita de la técnica del buceo para despla-

zarse a su lugar de trabajo"²¹ va calando lo suficiente como para comprender que las cosas en este campo son menos excepcionales de lo que se había considerado con anterioridad.

La aplicación de este criterio, común a todo el buceo científico y su aceptación internacional progresiva, resuelve también el problema surgido entre titulaciones de buceadores profesionales (comerciales) y buceadores deportivos encaminando las cosas creemos que de manera definitiva²².

En la actualidad la Arqueología Subacuática no difiere mucho de la Arqueología tradicional, tan sólo el medio en que debe practicarse, lo que implicará la aplicación de técnicas específicas, sobre todo de adaptación a ese medio, el conocimiento y práctica del buceo, así como la necesidad, cada vez más exigible de disponer de una planificación de los proyectos muy rigurosa en la que la logística adquiere un protagonismo especial. De todas formas no debemos olvidar que esa preocupación por una adecuada planificación y una cuidadosa logística, debe estar presente en el momento que nos desplazamos de nuestra zona habitual de residencia y perdemos la seguridad que da la proximidad a los recursos científicos, humanos y materiales de que disponemos normalmente. La utilización de medios de transporte menos frecuentes o de bases de trabajo distintas, como embarcaciones, equipamiento técnico para suministrar aire o mezclas de gases respirables, según el caso, a los equipos de buceo, herramientas especiales, equipos de toma de imágenes adaptados para su uso bajo las aguas y sobre todo técnicas y materiales específicos para la conservación de los objetos y restos, no convierten a esta arqueología en una actividad distinta. Seguimos estando en la tarea de la recuperación de información válida para hacer historia que en todo tipo de Arqueología es el objetivo fundamental.

Podríamos resumir esta etapa no finalizada, por una mayor proliferación de los trabajos subacuáticos, al mismo tiempo que por una generalización de los mismos en extensión geográfica ilimitada a los seis continentes (Antártida incluida²³), a océanos, mares y aguas interiores sin distinción y a una atención extendida a restos de cualquier periodo, desde la Prehistoria al siglo XX que ya es Historia y como tal se ha incorporado a la posibilidad de ser estudiado a través de sus restos materiales por medio de la Arqueología²⁴. Otra característica que empieza a ocupar su lugar en el concierto general, es la proliferación de proyectos en los que se tiende a establecer un programa de trabajo que al mismo tiempo que alcance los objetivos marcados, sea respetuoso con el medioambiente. Los informes de impacto ambiental, usuales en trabajos terrestres empiezan, afortunadamente, a ser tenidos en cuenta también en los subacuáticos y no debemos olvidar que la Arqueología es una actividad en cierto modo destructiva al romper con frecuencia el equilibrio que mantiene el yacimiento con el entorno en que ha quedado integrado.

Tenemos hoy una Arqueología Subacuática con más madurez, inserta en estudios cada vez más ambiciosos, interdisciplinar, cuidadosa con el entorno en que se investiga y no sólo por el respeto al contexto cultural, sino también por el equilibrio medioambiental. Una ciencia que al mismo tiempo es capaz de dar muchas respuestas que antes eran quimera inalcanzable y sobre todo conscien-

te de que ese respeto y esa recuperación útil para la sociedad sólo se puede conseguir mediante una rigurosa planificación de los proyectos, con la existencia de leyes modernas y técnicas de conservación para aplicar a los materiales hallados, antes, durante y después del proceso de excavación y extracción.

Algo de legislación

No es éste el lugar para una larga digresión sobre los problemas derivados de una insuficiente, incompleta o inexistente en muchos casos, legislación sobre el Patrimonio Cultural Sumergido, pero tampoco debe obviarse.

La evidencia de que los hechos van por delante de las leyes es un axioma que se repite de nuevo en este caso. No podemos decir en puridad que cuando surgieron las primeras experiencias en este tipo de arqueología las leyes no lo habían previsto. Tal vez deberíamos decir que la Arqueología ha evolucionado tan velozmente y la casuística en la que se mueve es tan variada, que el hecho de que aparecieran también yacimientos arqueológicos sumergidos no debería considerarse más que como un episodio que añadir al anecdotario general del tema, pero las cosas son más complicadas. La generalización de los trabajos arqueológicos durante el siglo XX en que alcanza madurez y estabilidad como disciplina científica, tuvo que salvar escollos importantes surgidos de la existencia de una legislación todavía poco dúctil y realista, cuando existía, que dejaba muchas sombras en el camino del desarrollo de la ciencia, con problemas sobre propiedad de lo hallado, profesionalidad y formación de sus actores, relaciones con las administraciones y un largo etcétera que sería prolijo enumerar. Por otra parte la necesidad de modernizar otros cuerpos legales de aplicación más general provocó en no pocos casos que los temas de patrimonio quedasen postergados mucho más tiempo del debido, lo que se tradujo inevitablemente en pérdidas y destrucciones de un importante acervo cultural. Con el patrimonio sumergido y la consiguiente aplicación de la Arqueología ocurrió otro tanto, complicadas más aún las cosas al movernos en un medio que tradicionalmente ha sido feudo controlado por las autoridades de marina, como lo sigue estando en muchos países todavía, con los problemas de inadaptación a la realidad que ello supone.

Es tan sólo bien avanzada la segunda mitad del siglo XX cuando empieza a haber una necesidad acuciante en algunos países, singularmente europeos y algunos del sub-continente norteamericano, de redactar y poner en vigor normas y leyes específicas que reconozcan en primer lugar la urgencia de proteger y regular este patrimonio y faciliten su aproximación reglada. Junto a ellos, en otros que hubieron de modernizar su legislación, se optó por renovar las leyes de tal manera que la consideración de objeto de la Arqueología eran todo tipo de hallazgos y yacimientos ya fueran terrestres o subacuáticos, con lo que sabiamente se resolvía el problema y se ponían las cosas en un término adecuado, si bien la casuística especial, aplicación de técnicas, etc., debía quedar resuelta por reglamentos que desarrollasen dichas leyes de forma pormenorizada.

En lo nacional, Francia, Grecia, España, Italia, Holanda, Canadá, etc. fueron promulgando leyes y disposiciones, pero inmediatamente se pudo comprobar que empezaba a ser necesario, sin tardanza, plantear el problema de las aguas internacionales, zonas contiguas, es decir, todo aquel espacio de mar que quedaba fuera de las aguas jurisdiccionales de los países, al mismo tiempo que sería una excelente oportunidad para definir qué era la actividad y el patrimonio al que se aplicaría, así como todos los aspectos legales y normativos de carácter reglamentario que permitiesen un único tratamiento internacional consensuado y aceptado por un elevado número de países interesados.

La primera actuación en este sentido fue promovida por el Consejo de Europa a inicios de los años ochenta y tras cinco años de trabajos un Comité *ad hoc* de expertos gubernamentales finalizó la redacción de un modelo de Convención válido para la mayoría que no llegó a aplicarse²⁵.

Con posterioridad, la necesidad cada vez mas acuciante de volver sobre el tema, sobre todo cuando se estaba comprobando la proliferación de trabajos, proyectos, recuperaciones y extracciones de materiales cada vez de forma más dudosa o claramente punible, llevó a la UNESCO a tomar la iniciativa y proponer el inicio del proceso para sacar adelante, esta vez con más ambición, una Convención para la Protección del Patrimonio Cultural Sumergido, con el apoyo de diversos organismos internacionales relacionados con el patrimonio o con temas marinos como ICOMOS, ICOM, DOALOS, UNCLOS, y algunas organizaciones internacionales como la IUCN, CMAS, etc. Con anterioridad el precedente había sido la consideración por parte de las Naciones Unidas en la Ley del Mar, de que el Patrimonio Cultural Sumergido era un tema específico que aunque considerado en tan sólo dos artículos de aquella Convención, se trataba de un tema especialmente delicado que debía ser objeto de una Convención especial, cosa que se hacía en aquel momento.

Casi cuatro años de trabajo evidenciaron de nuevo los problemas derivados de la singularidad de un tema en el que se movían de forma soterrada o abierta muchos intereses, se contemplaba la disparidad inicial de criterio entre los especialistas en Patrimonio o Arqueología Subacuática y los especialistas en leyes y sobre todo los derivados de la defensa de intereses nacionales, muy respetables, pero que en muchos casos esconden otro tipo de actitudes y actuaciones poco acordes con lo que hoy se considera Patrimonio Cultural común que excluye la noción de aprovechamiento y explotación comercial del mismo.

La debilidad de países emergentes sin posibilidades económicas o científicas de alcanzar cotas de autosuficiencia en el tema así como la imposibilidad por estos y otros de ejercer un control efectivo de sus costas y de las aguas internacionales sobre las que pudiesen tener algún tipo de responsabilidad, suponen un serio problema. Por otra parte la voluntad manifiesta de entorpecer un proyecto que pudiera sentar las bases para el control futuro, por legislación comparada, de otros aspectos, que en el caso del derecho del mar son siempre de extrema complejidad, hizo que las conversaciones y

debates fueran lentos y con muchos pasos en falso. Por fin, sin alcanzar el consenso deseado y recomendado por el Secretario General de la UNESCO, se obtuvo por mayoría, un texto que trasladar a la Asamblea General y terminó por aprobarse la tan deseada Convención, que marcará una inflexión decidida en el camino de la protección definitiva de este patrimonio sumergido, considerado como bien general de toda la Humanidad²⁶.

En lo que respecta a la legislación española, la L.P.H.E. de 1985²⁷ ya incluyó en su texto desde el principio de las definiciones y articulado la consideración de Patrimonio Arqueológico con independencia del lugar en que se hallase depositado. Con ello se ponía el acento de forma clara y precisa en la unicidad de la Arqueología como ciencia responsable del estudio y recuperación de ese tipo de patrimonio incluido, por supuesto el subacuático. De algún modo nos poníamos a la cabeza de las leyes promulgadas en los últimos decenios del siglo pasado en los distintos países. El complemento adecuado vendría luego con el Reglamento a la Ley y sobre todo con las leyes y normas administrativas de rango superior emanadas de las Comunidades Autónomas con disponibilidad de aplicación de las mismas en aguas exteriores o internas aunque el resultado ha sido variado. Por último, se aprecia la necesidad de aprovechar la oportunidad de la promulgación de la Convención de la UNESCO para adecuar algunas de estas leyes y normativa nacional o autonómica o para aplicar directamente los preceptos de la legislación internacional desde el momento de la ratificación de la misma por España.

Los actores.

En este complejo escenario en que se desarrolla todo lo concerniente al Patrimonio Cultural Sumergido es conveniente no perder de vista quienes son los actores implicados directa o indirectamente. La propia historia de la actividad nos muestra unas claras oscilaciones con variación activa de los actores según periodos, tendiendo lógicamente a una mayor complejidad conforme se fueron definiendo aspectos tales como campos de actuación, responsabilidades, objetivos, etc.

Si en los comienzos esa responsabilidad recayó casi exclusivamente en aquellos que tenían capacidad técnica (incipiente) y arrojo suficiente para arriesgarse en un mundo entonces casi desconocido con medios muy rudimentarios, los buceadores deportivos y luego esporádicamente militares, bien es cierto que debían compartirla con aquellas instancias que ejercían por derecho y de facto, el control de toda aquella actividad relacionada con la mar y con la eventual extracción de objetos de la misma. Que los mismos fueran a parar a manos concededoras y a instituciones académicas o culturales era bien circunstancial.

Más tarde, poco a poco se fue normalizando la situación con el progreso del conocimiento y se tuvo conciencia de la necesidad de intervenir para proteger y controlar aquellas actividades, todavía extraacadémicas, que podían tener un interés para la ciencia y que podían aportar nuevos materiales a los museos,

instituciones que en aquel momento distaban mucho de poder asimilar este tipo de hallazgos como se ha demostrado repetidamente en todo el mundo.

La madurez que ha alcanzado luego la disciplina, la sensibilidad creciente de la sociedad hacia temas de Patrimonio y Arqueología y el perfeccionamiento de técnicas junto a la formación de especialistas capaces de juzgar por sus ojos aquello que antes solamente conocían de oídas, dio un vuelco total al panorama general. Intervinieron nuevos actores como arqueólogos especializados, estudiosos de construcción naval, especialistas en diversas tipologías de materiales, artillería, cerámicas de todo tipo, etc., que empezaban a llenar museos y colecciones públicas, etc. Al mismo tiempo iban perdiendo protagonismo aquellos que lo habían tenido casi en exclusiva en un principio, los buceadores deportivos, que fueron casi demonizados en aplicación de la tradicional ley del péndulo. Hoy sabemos que si bien ha habido y todavía existen muchos desaprensivos o simples desconocedores de la necesidad y obligatoriedad de proteger este patrimonio y comunicar los hallazgos, son también numerosos los que colaboran voluntariamente con autoridades responsables a través de clubes y asociaciones deportivas de buceadores, federaciones regionales o nacionales, etc. Basta con leer el preámbulo de la Convención de la UNESCO para el Patrimonio Cultural Sumergido y comprobar como hace referencia a la necesidad de la colaboración entre todas las administraciones, instancias y organizaciones (incluidas las de buceadores) para una mayor eficacia en su protección²⁸.

En la actualidad podemos decir que están implicados con mayor o menor grado de importancia: Administraciones internacionales, nacionales, regionales (de tipo diverso según los países), locales, académicas y de investigación, museos, conservadores y restauradores, laboratorios especializados, instituciones y organizaciones de protección medioambiental, de actividades subacuáticas, agentes sociales, medios de comunicación, etc. Sin duda toda una pléyade de agentes que antes quedaban al margen y que hoy paulatinamente se ven implicados en alguna medida en el proceso de: Protección, investigación, recuperación, conservación, estudio y exhibición final de los resultados y de los elementos materiales de este patrimonio recuperados con fines educativos, museológicos y culturales.

En ese abanico, las administraciones tienen una gran responsabilidad para prevenir abusos, proteger el patrimonio haciendo cumplir la ley con los recursos a su alcance, así como facilitando los medios y recursos económicos necesarios para que se pueda llevar a cabo una actividad científica de calidad, sin obviar lógicamente la posibilidad de complementar los medios económicos a través de otras aportaciones, sin descartar las privadas por medio del patrocinio o mecenazgo, tan importante en nuestros días y uno de los pilares en que se fundamentarán (ya lo hacen) muchas actividades científicas y sobre todo culturales en el futuro más inmediato.

El mundo de la ciencia comprende en estos momentos una pléyade de especialistas que bajo la sabia batuta del arqueólogo responsable del proyecto, debe hacer frente al reto de extraer a cualquier yacimiento o hallazgo aislado toda la información posible, así como recuperar y proteger los restos

para su preservación futura en el exterior, depositados en un museo, una institución científica o debidamente protegidos en el fondo en el que se descubrieron; tendencia en expansión, muy recomendada por administraciones competentes, instituciones científicas e investigadores.

En este grupo tenemos que tener en cuenta la gran cantidad de especialistas y técnicas, que se han venido incorporando al quehacer arqueológico, al igual que se debe poner el acento en la necesidad de fortalecer la presencia de técnicos en conservación y tratamiento de materiales saturados en agua, sin los cuales es muy peligroso emprender un proyecto en esta disciplina. Afortunadamente la Convención de la UNESCO, la carta de ICOMOS para la protección de este patrimonio, así como la cada vez más abundante normativa internacional y de rango nacional o inferior, insisten en ello y podemos afirmar que este es un camino en el que ya se empieza a ver un horizonte despejado, si bien la carencia de un número suficiente de verdaderos especialistas en el tratamiento y restauración de estos materiales es todavía insuficiente.

Un protagonista de salud delicada.

Veamos ahora que ocurre con el protagonista indiscutible, con el Patrimonio Cultural Sumergido. En primer lugar, afirmar que se trata de un protagonista que se asemeja a una Hydra de infinitas cabezas por que la multiplicidad de variantes del mismo, casi infinita, al igual que ocurre con el material tratado en arqueología terrestre. La posibilidad de encontrarnos con yacimientos que otrora estuvieron en la superficie y hoy se encuentran bajo las aguas, debería resumir la situación sin necesidad de precisar más pero lo haremos.

En los inicios de la Arqueología Subacuática la tendencia a considerar esta actividad científica como una simple arqueología de barcos fue lo habitual²⁹. La fascinación por aquellos vehículos contenedores de historia que se habían ido a los fondos marinos y que aquí y allí empezaban a ser descubiertos por el azar fue tal, que se olvidó la posibilidad de que existieran otras posibilidades, y si alguien lo tuvo en cuenta, quedó al margen de la consideración general. Los barcos hundidos además de tratarse de un tipo nuevo de yacimiento arqueológico llevaban implícita la calificación de excepcional y misteriosa ya que cada ejemplo constituía la prueba evidente de un naufragio, lo que equivale siempre a tragedia por provocar la pérdida de vidas humanas. Añadamos la circunstancia de que en esos yacimientos se encontraban materiales con frecuencia intactos o en aparentemente grado óptimo de conservación (allí abajo), lo que era más que suficiente para crear un aura de excepcionalidad. Si sumamos el factor riqueza material que se unió pronto al contexto con la aparición y rescate desordenado, de los primeros restos de barcos en aguas americanas procedentes de la española "Carrera de las Indias" o de otras marinas, veremos que se empezaba a perfilar un campo de actividad científica, pero no sólo eso, de límites muy imprecisos que iba a causar no pocos disgustos a investigadores serios y administraciones, terminando con frecuencia en conflictos legales resueltos finalmente en los tribunales.

El descubrimiento de yacimientos de tipología variada hasta llegar a mostrar el gran paralelismo entre arqueología terrestre y subacuática hizo volver las aguas a su cauce, admitiendo eso sí, la habitual presencia de barcos hundidos y su tratamiento específico, que hizo aceptar la denominación de Arqueología Naval como mal menor, aunque enseguida se vio que las denominaciones específicas son más complicadas de lo que parece.

La Arqueología Subacuática debió admitir pronto que la dificultad mayor para su desarrollo no era disponer de técnicas para prolongar el tiempo de estancia útil bajo el agua del arqueólogo buceador, tampoco la disponibilidad de herramientas y equipos adaptados para su funcionamiento en este medio que no es el nuestro. El principal problema que se debió afrontar fue el de la conservación de unos objetos, sobre todo los orgánicos que contemplados en el fondo en una apariencia de aparente estabilidad, cuando eran extraídos de su medio sufrían las terribles consecuencias de la inadaptación a uno nuevo que, habiendo sido el suyo originalmente, era ahora totalmente ajeno y por lo visto hostil para su supervivencia. Esa pérdida irremediable de materiales de todo tipo, inorgánicos, como piedra, cerámica, metales u orgánicos como textiles, cueros y sobre todo madera, pronto sembró el desconcierto y activó las primeras señales de alarma.

Hoy sabemos que yacimientos excavados en los primeros momentos de euforia, de los que se extrajeron gran cantidad de materiales sin grandes o ninguna precaución, centenares y miles de ánforas, cañones y proyectiles de hierro o bronce, objetos menores e incluso secciones de barcos, fragmentos y útiles de madera, se convirtieron pronto en masas informes de metal resquebrajado y maderas retorcidas y agrietadas hasta límites insospechados.

Esta constatación hizo dar la voz de alarma y enseguida se pudo comprobar que el riesgo de pérdida de materiales extraídos de los fondos marinos o subacuáticos en general era constante y creciente si no se tomaban unas medidas precautorias que entonces distaban mucho de aplicarse ni siquiera a los materiales procedentes de excavaciones terrestres. La realidad de un patrimonio abundante, de gran interés, pero extremadamente inestable y delicado que mostraba una gran fragilidad en el momento en que se extraía de un medio que había hecho suyo y con el que estaba plenamente equilibrado, con un proceso de deterioro detenido o de actuación muy lenta a no ser que se encontrase en lugares muy afectados por la acción directa de la dinámica marina de mareas, corrientes, golpes de mar en zonas costeras, etc. obligó a reflexionar.

Si repasamos la lista de intervenciones y recuperaciones de los primeros tiempos, podremos comprobar como muchos de aquellos materiales se han perdido, no por falta de control (también eso ha ocurrido), sino por una absoluta carencia del obligado tratamiento posterior a su extracción, por aplicación de técnicas sin experimentar previamente o simplemente inapropiadas.

En la actualidad la fragilidad y extrema inestabilidad del Patrimonio Cultural Sumergido es un hecho reconocido universalmente y las recomendaciones internacionales van en la senda de evitar iniciar cualquier proyecto de

actuación sobre un yacimiento sumergido, del tipo que sea y se encuentre donde se encuentre, sin un capítulo específico en el que se expresen con claridad las medidas tendentes a la conservación de los restos de estructuras y objetos a recuperar. Ello implica contar con el apoyo de laboratorios especializados en el tratamiento y conservación de estos materiales antes de iniciar cualquier actuación. Coincidente con esta recomendación / obligación defendemos el principio de optar, siempre que se pueda, por el estudio y conservación *in situ*, sobre todo si se tiene dudas de la posibilidad ulterior de un tratamiento adecuado de los restos extraídos, ya sea por razones técnicas o económicas.

La hipoteca permanente

Una de las características que se repite de forma reiterada en cuantas situaciones se ha acometido la tarea de la extracción de cantidades apreciables de materiales saturados en agua y sobre todo de estructuras navales en madera, es sin duda, el del tiempo de tratamiento requerido, siempre largo y costoso.

Los materiales procedentes de medio acuático, ya sean de aguas saladas como la marina o agua dulce como las interiores de ríos y lagos, siempre requieren de periodos largos de adaptación al nuevo medio aéreo, con independencia de que se trate de unos u otros materiales con unas muy escasas excepciones entre las que se encuentra el oro, metal noble por excelencia e inalterable. El resto en mayor o menor grado necesitará de un periodo de adaptación a la nueva situación y de largos tratamientos, que en el caso de la madera y otros restos de origen orgánico, sobre todo si hablamos de barcos completos de cierta entidad, puede ser permanente. Es decir, nos encontramos ante enfermos crónicos que requieren de cuidados especiales permanentemente constituyendo una verdadera carga para las instituciones o administraciones que deben soportarlo, lo que con frecuencia ha supuesto el abandono del proceso sin finalizar por falta de recursos económicos o materiales.

Es frecuente comprobar tratamientos incompletos, inadecuados o excesivamente acelerados que han terminado invariablemente en fracasos estrepitosos, acarreando la pérdida del patrimonio confiado a sus cuidados. Por ello quién esté dispuesto a iniciar un nuevo proyecto deberá tener en cuenta estas premisas, hoy bien conocidas por el mundo científico acreditado y ser consciente de los riesgos y responsabilidad, que puede contraer si lleva a cabo un proyecto que implique recuperación de estructuras de arquitectura naval sin las debidas precauciones y sin tener asegurado el destino final de las mismas y la seguridad de un tratamiento que facilite su preservación hacia el futuro.

Ejemplos bien conocidos de todos, como el *Vasa* o el *Mary Rose*, *Marsala*, etc., están permanentemente en el punto de mira de los investigadores y gestores de este singular y delicado patrimonio comprobando si el tratamiento y el control permanente que se sigue con ellos sufre alteraciones que hagan peligrar su frágil estabilidad conseguida con tantos esfuerzos científicos, técnicos y económicos.

Centros de rehabilitación

Parafraseando la terminología médica en el titular de este apartado, los laboratorios y centros de investigación sobre tratamiento y restauración de materiales empiezan a ser habituales en el panorama internacional, si bien son más usuales los laboratorios de tipo general que se ocupan parcial o circunstancialmente de materiales saturados en agua que los específicos para este tipo de objetos y estructuras, lo que no deja de ser un inconveniente como veremos.

Como reflexión general la vecindad del agua o de una humedad alta es poco recomendable para cualquier hallazgo englobado bajo el epígrafe de patrimonio cultural o patrimonio arqueológico. El agua y la humedad son causa de infinitos problemas que afectan a la estabilidad de los objetos de manera diversa que no entraremos a discutir aquí por ser de conocimiento general. Por otra parte, el tratamiento de los distintos materiales que pueden recuperarse de una excavación subacuática es de tal variedad tipológica y estructural que hace que no sea frecuente que un mismo centro sea capaz de asumir la resolución de todos los problemas que surgen, salvo si se trata de un gran centro nacional o de uno creado específicamente para ese proyecto con los medios y recursos dimensionados previamente al grado y volumen de materiales que deberá recibir y tratar.

Los principios generales de la conservación y tratamiento de los materiales arqueológicos dividen a éstos en grupos según la materia de que están confeccionados y poco más³⁰. Pero los problemas no se resuelven con esta sencillez sino que el hecho de haber reposado durante largo tiempo en un medio especial como es el agua, (materiales saturados en agua), les confiere unas características nuevas por lo que no se comportan igual que sus homólogos que no han estado sometidos a las mismas condiciones y esto hay que preverlo y afrontarlo.

Una serie de respuestas y comportamientos comunes de los materiales de esta procedencia aconseja que se puedan tratar en instalaciones comunes, por lo menos en un primer momento que calificaríamos de tratamientos de urgencia en los que por lo menos debe asegurarse la estabilización de las piezas y estructuras hasta poder iniciar el tratamiento definitivo allí o en laboratorios especializados. La necesidad de dotar a todos los objetos de un pH neutro, en la saturación de agua en que se encuentran, será el primer paso a establecer. Con posterioridad se iniciará el proceso propiamente dicho que es objeto de atención específica en otra parte de esta obra.

En la actualidad existe una diversidad considerable de laboratorios que dicen estar preparados para asumir la recepción de materiales saturados en agua y efectuar su tratamiento, dejando aparte una cantidad al parecer apreciable pero desconocida de laboratorios o técnicos privados que también se dedican a ello, aunque la necesidad de instalaciones de cierta envergadura y mantenimiento costoso, sobre todo para orgánicos y algún tipo de tratamiento de metales férricos, hace difícil su supervivencia. Que lo consigan llevar

a cabo con garantías de éxito es harina de otro costal como se viene comprobando.

Desde el punto de vista de la investigación básica, algunos centros y escuelas nacionales de restauración han acometido, al menos en escala experimental, algún tratamiento de materiales orgánicos de especial complicación como la madera que es la que tiene un comportamiento más complejo, aunque en la actualidad plenamente conocido. Hace tiempo que resolvieron el tratamiento de cueros, textiles y papel o similares con notable éxito, pudiendo afirmar que hoy no tienen secretos para los restauradores capaces. El problema de la madera es otro. Nos encontramos con un tipo de material orgánico muy sensible a los cambios de temperatura y sobre todo de humedad, por lo que las maderas que han permanecido durante largos periodos de tiempo bajo las aguas, han alcanzado un grado de integración en el medio que hace muy costoso y largo su tratamiento para hacer reversible el proceso y dar estabilidad al producto resultante sin alterarlo. Hoy día, podemos afirmar que los grandes laboratorios que se ocupan de la recuperación de maderas empapadas están vinculados a museos monográficos o centros específicos de investigación, surgidos por la necesidad de dar respuesta a este tipo de material y sobre todo a aquellos conjuntos extraídos de fondos subacuáticos en general y marinos en particular.

De entre los existentes debemos destacar el instalado en el CENG de Grenoble, considerado de forma unánime como el mejor y mayor centro existente con capacidad suficiente para tratar cantidades importantes de madera por el procedimiento de la impregnación en PEG y la liofilización posterior en vacío y excepcionalmente el secado controlado a presión atmosférica, de resultados más inciertos pero inevitable para grandes estructuras que no se ha decidido desmontar por su magnitud o complejidad.

El laboratorio francés de Grenoble puede considerarse como el centro de referencia para este tratamiento y para el tratamiento de impregnación en PEG y radiación por rayos Gamma, procedimiento no reversible, muy controvertido pero hoy aceptado para materiales muy deteriorados como última posibilidad. Igualmente se investiga en este laboratorio en los distintos sistemas que han surgido, algunos ya aparcados por obsoletos o ineficaces, y con otros que se ponen en marcha continuamente. Así la línea de investigación sobre la Sacarosa, alternativa barata pero con otra serie de inconvenientes, la Colofonia, impregnación en hidrocarburos y algunos más.

Este laboratorio no se ocupa de materiales inorgánicos, pero en el grupo de los orgánicos ha tratado con gran éxito todo tipo de ellos, pieles, cueros, papel, cuerno, marfil, etc. También en la zona de Grenoble se debe considerar el yacimiento y museo local de Charavines del Lago Paladru³¹ donde se han recuperado y tratado con éxito multitud de objetos de un poblado de la alta edad media sepultado bajo las aguas por una crecida del nivel del lago.

En la actualidad existen otros centros en Francia que poco a poco han ido asumiendo el tratamiento de materiales no orgánicos, excepción hecha de Marsella que restauró hace tiempo estructuras de embarcaciones antiguas

con relativo éxito mientras que en la actualidad ceden al laboratorio alpino tales materiales para asegurar la eficacia. Los materiales inorgánicos son tratados en Marsella en el Centro Nacional de Investigaciones Subacuáticas, Fort Saint Jean³², así como en otros laboratorios de museos por los procedimientos tradicionales de desalación y estabilización del pH y posterior secado y consolidación para materiales pétreos, utilizando procedimientos varios para los metales entre los que la electrólisis sigue siendo el método más generalizado para eliminar concreciones, tanto para materiales férricos como cobre y sus aleaciones, estaño, plata, etc.

Recientemente en el 2001-2002 se inició un proyecto en Burdeos que preveía la actuación sobre el puerto fluvial desde época romana hasta tiempos modernos, con el riesgo de aparición de abundantes materiales. Para ello se adaptó y reforzó el laboratorio del Museo de Aquitania, así como se dejó previsto un espacio para laboratorio de tratamiento preventivo en el caso de que hubieran de extraerse cantidades importantes de madera, incluso alguna estructura de embarcación bien conservada. Para ello se habilitó uno de los alvéolos pertenecientes a las fortificaciones alemanas para sus refugios de submarinos en la II Guerra Mundial que finalmente no ha tenido que ser utilizado³³.

Dinamarca y su Museo de Roskilde constituye igualmente uno de los puntos clásicos de recuperación de maderas saturadas de agua y al mismo tiempo tratamiento de materiales y objetos diversos extraídos de medio subacuático. Su experiencia procede de la recuperación de los cinco barcos vikingos que se hundieron deliberadamente en la alta edad media para cerrar el canal de acceso al fiordo para protegerlo de invasiones en un momento crítico. Su excavación constituyó entonces un modelo arriesgado tanto por su extensión como por la complejidad de cerrar mediante un cajón semiestanco toda la extensión del yacimiento, de poco fondo, para bombear luego el agua y las filtraciones que necesariamente se producían³⁴. Hoy día es un ejemplo de cómo la mejor arqueología subacuática es la que puede realizarse en seco como propugnamos algunos, aunque tal posibilidad no es posible salvo en casos aislados. Los resultados del tratamiento dado a los barcos desmontados de Roskilde mediante impregnación de PEG en caliente han sido correctos y no ofrecen problemas de estabilidad por el momento si bien no hay que olvidar se trata de maderas de poco grosor como corresponde a barcos muy ligeros con la construcción a tingladillo característica de aquella época y tipología naval.

Próximo a Roskilde ha de citarse el Landesmuseum de Schleswig, con sus laboratorios en el Schloss Gotorff, mientras que la zona de exposición de los restos subacuáticos se encuentra en el cercano Museo de Haithabu, con el complejo museo y embarcadero frente al que apareció el pecio en el que se expone el barco y su utillaje. Instalado siguiendo el patrón del Museo y laboratorios de Roskilde, constituye un buen modelo de integración de laboratorios de tratamiento de todo tipo de materiales, con atención especial a los de procedencia subacuática. Habrá que tener en cuenta que en estas latitudes del norte de Europa es frecuente la aparición de objetos en medio húmedo, con

relativa abundancia de materiales orgánicos mucho menos frecuentes en latitudes más meridionales y secas.

Complementarían las instalaciones principales alemanas los laboratorios instalados en torno a determinados hallazgos importantes como la Coca de Bremen en el Deutsches Schiffahrtsmuseum Bremerhaven, con exposición del barco medieval una vez tratado por impregnación de PEG en disolución, sin desmontar el barco aunque posteriormente hubo de ser desmontado, vuelto a tratar y montado nuevamente por desajustes en el proceso, que es como se expone en la actualidad. Este Museo Nacional dispone de un laboratorio bien experimentado en tratamiento de materiales saturados de agua y la experiencia de la Coca ha servido para resolver el tratamiento de objetos menores que son recibidos normalmente.

Mainz por su parte hubo de acometer el tratamiento de sus barcas fluviales de época romana pertenecientes a la flota imperial del Rin. Aunque halladas en tierra en lo que fuera un cauce antiguo del río, aparecieron completamente saturadas de humedad por lo que el tratamiento hubo de ser similar a si hubieran aparecido en medio subacuático directamente. Tras largos años de experiencias y un tratamiento correcto en laboratorios *ad hoc* se exponen en la actualidad plenamente estabilizadas.

El Landesmuseum de Bonn destaca por la instalación y activación en los años ochenta de un laboratorio específico para el tratamiento de metales férricos procedentes de medio subacuático. El sistema empleado, similar al instalado en el Museo suizo de Zürich, es el de plasma de mezcla de gases, instalación que requiere unas condiciones de seguridad especiales por su peligrosidad que hace poco factible su instalación en muchos lugares, pero que resuelve con gran eficacia el tratamiento definitivo de los siempre difíciles metales férricos, sujetos por los procedimientos tradicionales a larguísimo procesos de recuperación para eliminarles las costras de concreción, así como para extraerles la humedad y estabilizarlos definitivamente mediante electrólisis. El inconveniente por ahora sería el de disponer de cámaras con suficiente capacidad como para albergar grandes piezas de artillería o algunas partes metálicas de los aparejos de los grandes navíos, anclas, etc. Un inconveniente complementario es el del cálculo exacto de la intensidad de tratamiento ya que un exceso en el tiempo de aplicación puede alterar la estructura interna del material convirtiéndolo en otro diferente al original y por lo tanto falso.

Los países de la península escandinava, Suecia y Noruega, constituyen un caso especial por la riqueza y espectacularidad de sus restos. Destaca el mítico caso del *Vasa*, navío de la armada real sueca que se hundió, como es conocido, en su viaje inaugural en el mismo puerto de Estocolmo, reposando en fondos de 32 metros hasta que en el año 1956 fue localizado, volviendo a la superficie en una arriesgada e inédita operación de reflote en 1961 constituyendo a partir de entonces un hito todavía no superado. El largo proceso de tratamiento del barco botado y hundido en 1627 y vuelto a la superficie en 1961 duró hasta 1990 en que se abrió el Museo Vasa oficialmente, continuando de manera permanente su vigilancia y comprobación para verificar

el comportamiento del tratamiento por saturación de PEG mediante rociado continuo sin desmontar el casco. La operación de gran envergadura y costo era la primera vez que se acometía y fue un éxito aunque procesos posteriores con otros barcos han permitido corregir errores y ajustar el mismo. Hoy día el *Vasa* sigue siendo el ejemplo emblemático de conservación de madera saturada de agua por impregnación de PEG.

Si bien la conservación del casco es lo más espectacular, el resto de los objetos, utillaje naval, etc. recuperados en el navío constituyen una experiencia más que notable y los laboratorios encargados de ello han adquirido una habilidad en este campo muy poco frecuente.

Noruega por su parte mantiene su tradición naval conservando perfectamente barcos históricos que se mantienen a flote mediante los cuidados de especialistas y restauradores³⁵. Si bien no hay barcos espectaculares rescatados de los fondos marinos hasta ahora, el portentoso barco vikingo de Osberg, hallado a fin del siglo XIX en un enterramiento principesco con todo su ajuar bajo un espléndido túmulo, rescatado, remontado una vez restaurado y expuesto en el Museo Vikingo de Oslo, la tipología a que pertenece y sus grandes dimensiones, así como el tratamiento de conservación aplicado, comparte los mismos cuidados y metodología que las maderas saturadas de agua.

Los Países Bajos han desarrollado técnica suficiente para resolver el tratamiento de materiales arqueológicos saturados de agua que se recuperan en sus costas si bien no hay restos de gran espectacularidad. La capacidad técnica unida a una política adecuada y una legislación apropiada hace que no afloren problemas de consideración.

Suiza por otra parte ha constituido un núcleo de gran fortaleza en el tratamiento de objetos de todo tipo de materiales procedentes de este medio. Los yacimientos lacustres, no sólo pequeñas embarcaciones sino poblados prehistóricos y protohistóricos han proporcionado una gran cantidad de objetos que han sido recuperados eficazmente y expuestos en sus museos. La localización de alguna pequeña embarcación, su estudio, réplica y vuelta a conservar bajo las aguas en sitio protegido, es una muestra en un campo todavía por explotar que prefiere disponer de réplicas rigurosas antes que tener que mantener las estructuras de construcción naval una vez tratadas, en costosos procesos, bajo vigilancia permanente en espera de una eventual crisis del tratamiento aplicado. Hoy día se recomienda no perder de vista esta posibilidad. Los laboratorios del Museo de Zürich para tratamiento de metales férricos por plasma siguen siendo un punto fuerte a considerar.

Italia dispone de excelentes laboratorios de restauración de todo tipo de materiales como es sobradamente conocido, pero sigue siendo una asignatura pendiente el tratamiento de materiales orgánicos saturados de agua, aunque en la actualidad parece en vías de solución. La recuperación en los últimos veinte años de diversos restos de barcos, algunos excelentemente bien conservados como la nave tardorromana de Comacchio³⁶ y actualmente el espectacular conjunto de Pisa han obligado a encarar el problema, esperamos que de forma definitiva. La existencia de instalaciones depen-

dientes de la administración central con incluso un centro para la arqueología en aguas interiores radicado en el Adriático, supone una actividad que controla e intenta crear una infraestructura tan necesaria como aún incompleta. Laboratorios de restauración como los de Florencia se han hecho cargo esporádicamente de recuperación con éxito de metales extraídos de fondos marinos y en casos especiales como Comacchio o ahora Pisa³⁷, se ha actuado *in situ* o se intenta crear la infraestructura necesaria para acometer un problema creciente, pero el proceso es excesivamente lento para la riqueza potencial y real de que ya se dispone. Excavaciones como Cavoli en Cerdeña no pudo culminar el proceso de recuperación de las estructuras de madera, de dimensiones modestas, del barco medieval del siglo XV de la Corona de Aragón, por falta de instalaciones que acogieran los restos, tanto de madera, como un importante lote de cañones en hierro de los que parece haberse restaurado in extremis un ejemplar³⁸. *Mal di Ventre*, pecio romano también sardo espera disponer de albergue para los restos de estructura que se conservan en el fondo una vez excavado el barco, lo mismo que ocurre con otros hallazgos del norte de Cerdeña, Sicilia o la propia península italiana de sur a norte.

Por otra parte en algunos laboratorios regionales italianos se ha experimentado con éxito modesto con otro tipo de productos, además del tradicional PEG, como la Sacarosa, Colofonia y otros, en una búsqueda de un abaratamiento sustancial del proceso³⁹.

La actividad arqueológica de investigación se complementa ahora de manera muy firme con la implantación de una licenciatura de ciclo corto en Patrimonio Subacuático desde la Universidad de la Tuscia en Viterbo⁴⁰ que acaba de iniciar su andadura con buenas expectativas y que seguramente acometerá algunos proyectos de tratamiento y recuperación de restos procedentes del medio subacuático.

Grecia no se enfrenta a la recuperación de estructuras grandes de barcos prefiriendo limitar la actividad arqueológica subacuática a lo imprescindible y a dedicar los esfuerzos principales al control y protección de su ingente patrimonio. No obstante se han recuperado algunos objetos y muestras que han sido asumidos por los laboratorios generales de la propia administración.

España dispone de cierta tradición en este tipo de investigación que sin embargo ha chocado, aunque la tendencia empieza a invertirse, con trabas administrativas, de falta de conciencia pública oficial sobre la importancia de este patrimonio y de la necesidad de inversión en su protección y recuperación. Siendo uno de los países mediterráneos pioneros en la actividad, ésta sigue no obstante sin despegar, acentuado el problema por la dispersión y atomización de las competencias entre las diferentes Comunidades Autónomas en que quedó dividido el Estado⁴¹.

La realidad difiere del plano teórico, en el que se plasma la existencia de diversos centros oficiales dependientes de diferentes administraciones, que en muchos casos son más deseo que realidad operativa por falta de medios tanto humanos como materiales.

La Administración central mantiene un Museo y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas en Cartagena, ahora construyendo su nueva sede, desde el que debería irradiar una mayor actividad directa o en colaboración con las distintas regiones, universidades, etc., sin olvidar la proyección internacional en la que nuestro país puede marcar distancias si se actúa inteligentemente y con medios. El Museo y Centro fue iniciador de la actividad arqueológica subacuática española sin discusión desde los años sesenta, abriendo sus puertas a todos pero limitada su actividad por necesidad y capacidad a las costas murcianas por no decir exclusivamente cartageneras. Allí se creó el núcleo, fortalecido en 1982 con la celebración del VI Congreso Internacional de Arqueología Submarina, publicado por el Ministerio de Cultura al mismo tiempo que se dotaba al mismo de medios materiales y técnicos para incrementar su actividad y conseguir un nivel científico y técnico adecuado.

La trayectoria ha sido espasmódica pero positiva, con sucesión de responsables y dotación de recursos hasta que en los últimos años se han conseguido, merced a hallazgos espectaculares y únicos como los barcos fenicios de Mazarrón, entrar definitivamente en el concierto internacional, disponer de unos laboratorios adecuados, altamente cualificados y experimentados, aunque mal dotados de medios tanto humanos como materiales, pese a lo cual se ha ganado el respeto internacional que deberá mantener e incrementar en su nueva sede. Hoy por hoy el tratamiento de orgánicos mediante impregnación de PEG en caliente y liofilización en vacío no tienen secretos para Cartagena que ha desarrollado programas internacionales de cooperación con otros laboratorios en red, para el progreso de la técnica especificada. Las instalaciones actuales aunque provisionales son correctas y su liofilizador, el mayor de los tres existentes en España en estos momentos⁴².

El Gobierno Catalán, a través del CASC ubicado en Gerona dispone de un equipo muy bien cualificado y estable, con dotación adecuada de medios que deberían reforzarse y lo hace para proyectos concretos, suficiente para la actividad que desarrolla en sus costas aunque en la actualidad ha empezado a proyectarse al exterior por medio de convenios de colaboración para optimizar sus instalaciones y personal y como proyección política. Las excavaciones de Culip con sus varios pecios, el del Canal Olímpico de Barcelona, la excavación del lago de Bañolas de época prehistórica, la elaboración de la Carta arqueológica subacuática del litoral catalán, así como otros trabajos en pecios de época más reciente han dotado a este centro de una capacidad y experiencia extraordinaria reconocida. La serie de publicaciones y una adecuada difusión de los resultados permite un acercamiento a la sociedad poco frecuente.

Andalucía, así como la Comunidad Valenciana han creado sendos centros de investigación que deberían contar con sus laboratorios de conservación y restauración de materiales saturados de agua. Por el momento existe el proyecto y Andalucía centraliza esa posibilidad en los laboratorios del Instituto del Patrimonio Andaluz en la Isla de la Cartuja en Sevilla, pero falta un largo camino por recorrer⁴³. Más largo será el del Centro valenciano que por el

momento no dispone de infraestructura suficiente ni personal, reducido éste a directora, restaurador y un auxiliar.

Las demás comunidades no cuentan en este cómputo, si bien en varias de ellas hay actividad, a veces de cierta importancia en este campo. Galicia ha detenido su investigación tras los trabajos de Mera y Finisterre en La Coruña⁴⁴, cuyos materiales de este último, se trataron en la Universidad de Zaragoza. Asturias tras un intento en los años ochenta ha detenido la actividad⁴⁵. Cantabria inició, con la colaboración de la Universidad de Zaragoza, la actividad de prospección y excavación en San Vicente de la Barquera en 1986⁴⁶ y posteriormente en solitario en la bahía de Santander y luego en la de Santoña⁴⁷, junto con otras actividades en Colindres⁴⁸ que no han supuesto actividad restauradora notable por no haberse recuperado hasta el momento maderas y sí objetos pequeños en los casos de Santander⁴⁹, San Vicente y Santoña, mientras que en el caso de Laredo y en excavaciones realizadas en los años 1995-2000 se extrajeron una serie de objetos de tipología diversa entre ellos una decena de grandes cañones de hierro de cuya restauración se encargó una empresa privada con resultados muy negativos por falta de experiencia en este tipo de materiales extraídos del medio subacuático⁵⁰.

Igual ocurre con el País Vasco que si bien mantiene una actividad investigadora de perfil bajo en la actualidad, tampoco dispone de laboratorios capaces de asumir la responsabilidad de tratamiento de simples objetos menores y menos todavía de conjuntos de materiales orgánicos como los restos de una presa en madera de época antigua que languidecen y se deterioran irremisiblemente por falta de atención. Es posible que los nuevos museos navales que se inaugurarán próximamente puedan asumir estas actividades aunque no hay noticias de ello⁵¹.

Las comunidades insulares han tenido una actividad investigadora desigual ligada a nombres propios que han bajado el ritmo de su actividad o lo han parado definitivamente. Se mantiene la presencia en aguas de Baleares en actividades más de prospección que excavación, constituyendo una reserva de importancia que debería acometerse de forma muy selectiva y asegurando su tratamiento posterior. Recientemente el descubrimiento de un barco griego y la colaboración con el CASC de Gerona puede hacer cambiar el panorama existente hasta el momento.

Un único Centro de Investigación en este campo está radicado en el interior. Se trata de la Universidad de Zaragoza que, al amparo de su Cátedra de Arqueología, viene desarrollando actividad investigadora en aguas españolas y fuera de ellas desde 1974 a la par que dedicada a la docencia y formación de estudiantes y profesionales y a la creación de una infraestructura modesta que no obstante cuenta con equipos de detección, al mismo tiempo que una instalación para tratamiento de materiales orgánicos con dos liofilizadores, uno pequeño para objetos menudos y uno de mayores dimensiones que se ampliará en un futuro próximo⁵².

Nuestra vecina Portugal acometió hace más de una veintena de años la tarea de crear una infraestructura central que permitiera trabajar en todas las

costas portuguesas, documentase y registrase los hallazgos y contase con unos medios aptos para el tratamiento y conservación de materiales. La parte correspondiente a investigación se ha desarrollado con gran eficacia manteniendo abundantes contactos internacionales mientras que la más costosa de instalaciones y laboratorios está en desarrollo. Importantes pecios, sobre todo en aguas del Algarve son una buena base de trabajo y experiencia que no se han desaprovechado⁵³.

Cerraríamos el cómputo Mediterráneo con una rápida referencia a otros países como Turquía, tal vez el más desarrollado en este campo, merced a la colaboración estrecha con el equipo norteamericano de G. F. Bass que logró despertar el interés, hoy plenamente consolidado de las autoridades turcas. Bodrum es el centro indiscutible de la actividad de control e investigación de sus costas, al mismo tiempo que sede de trabajo del INA. Cuenta con laboratorios de tecnología moderna para el tratamiento de materiales diversos⁵⁴.

Israel es otro de los pequeños países ribereños que ha desarrollado actividad, ha recuperado y conservado restos y dispone de infraestructura adecuada a sus trabajos. Los estudios en el puerto de Cesarea, los hallazgos del lago Tiberiades y otros más recientes mantienen un nivel apropiado de actividad⁵⁵.

Egipto mantuvo cierto protagonismo en los inicios de la Arqueología Subacuática por el interés despertado para algunos buscadores y exploradores, que no arqueólogos, sobre los restos de la batalla de Abukir entre las armadas francesa e inglesa en época de Napoleón⁵⁶. El fracaso de la operación, con una actividad arqueológica poco madura todavía hizo que la actividad quedase en el olvido hasta que hace unos años unas campañas en el puerto de Alejandría, con soporte mediático y financiero muy importantes con el acompañamiento de enfrentamiento entre dos equipos de investigación hicieron que saltasen a la luz unos hallazgos, exaltados más de lo debido con la adecuada promoción mediática, de cuyo proceso de excavación y recuperación todavía esperamos la publicación científica correspondiente⁵⁷. Sin duda Egipto, en Alejandría, porque no, o en otros lugares, conserva evidencias del pasado en yacimientos y restos subacuáticos que merecen mayor atención y rigor, pero por el momento nos queda la esperanza, que no la realidad.

La costa de Libia encierra un número importante de naufragios que empiezan a ser localizados pero todavía no documentados por carencia de personal cualificado y laboratorios específicos aunque el panorama puede cambiar en breve⁵⁸.

Túnez, cuenta en su haber con ser uno de los puntos en los que se inició hace más de un siglo la Arqueología Subacuática con el hallazgo del barco de Madhia⁵⁹. En la actualidad las autoridades tunecinas en un ejercicio razonable de su competencia protegen, documentan y poco a poco inician una tarea de investigación de bajo perfil en espera de disponer de los medios técnicos y laboratorios *ad hoc* para una actividad científica completa en este campo.

Argelia y Marruecos por su parte pueden constituir un caso similar al de Libia aunque las circunstancias por el momento no prestan atisbos de ello. Similar situación tenemos en otros países ribereños como Croacia⁶⁰, Serbia⁶¹, Albania o los del Mar Negro, como Bulgaria⁶² o Ucrania. Las posibilidades y una incipiente actividad fruto del reconocimiento de sus posibilidades, aquí con grandes diferencias entre ellos, hace que el futuro se desconozca si bien en algunos casos como Bulgaria o Croacia podemos tener sorpresas positivas en los próximos años.

En el norte y centro de Europa empieza a haber actividad, escasa todavía pero se aprecia un aumento de la sensibilidad hacia este patrimonio fruto de algunos descubrimientos, por lo general de restos de periodos históricos recientes o de la celebración de algunas reuniones científicas en las que se ha divulgado la actividad y se han presentado algunos hallazgos tanto en aguas costeras, caso de los países del Mar Báltico o en aguas continentales en el resto. Algunas recuperaciones de materiales en ríos o lagos han despertado el interés del público así como la búsqueda y documentación en archivos de algunos barcos emblemáticos cuya localización se ha emprendido luego con acciones de corto alcance y resultados escasos⁶³.

El continente americano muestra una disparidad notoria entre los dos hemisferios en primer lugar por razones de desarrollo tecnológico y económico. Siendo el Caribe el centro de atención preferencial a este patrimonio subacuático, fueron los navíos españoles de la Carrera de las Indias, los míticos galeones, los protagonistas de algunas recuperaciones importantes, en operaciones clásicas de buscatesoros al amparo de legislaciones permisivas o inexistentes⁶⁴. Hoy la situación ha mejorado notablemente y el futuro es más prometedor. La arqueología del nuevo continente tiene una característica diferencial clara que la ha mantenido alejada de la practicada en el viejo mundo europeo. El hecho de tratarse de barcos en su mayor parte de épocas moderna y posterior hizo que se le diera poco crédito, al igual que costó introducir en la comunidad científica la atención por la arqueología de épocas medieval y sobre todo posterior. Además la circunstancia de que los inicios de las exploraciones arqueológicas subacuáticas americanas estaban ligados a operaciones de rescate de tesoros con validez científica bien escasa o nula, dio facilidades esta marginación durante varios decenios hasta que la aparición de voces discordantes con aquella poco edificante realidad, la redacción y aprobación de algunas leyes nacionales, estatales o federales, según los casos y su puesta en vigor en Estados Unidos, Canadá o México fueron marcando la pauta poco a poco para la normalización de la actividad arqueológica con propósito científico separando, aquellos proyectos serios, rigurosos y respetuosos con las leyes y la filosofía internacional de protección del patrimonio subacuático del resto de actuaciones que se desacreditaron solas.

Estados Unidos con la figura de G. F. Bass y su escuela desde la Universidad de Texas A&M, con la creación del INA (Instituto de Arqueología Náutica) ha marcado sin duda la pauta a seguir y hoy día son muchos los discípulos o simplemente seguidores de esta forma de entender la disciplina con

rigor suficiente para sacarla adelante y facilitar la protección y conservación de ese patrimonio. Paradójicamente, la lógica abundancia de recursos técnicos y materiales no se tradujo en recuperaciones espectaculares en suelo americano pero si fuera de él, como lo prueban los trabajos en Chipre y Turquía, mientras que otros integrantes de su equipo, directamente o ya independizados han seguido actuando desde otros lugares de la Unión o desde países caribeños difundiendo una forma seria de investigar y conservar este patrimonio.

En lo que respecta a instalaciones y laboratorios de restauración son varios, repartidos por los distintos estados en los que se presta atención a esta arqueología. El INA, cuenta con un centro de tratamiento de materiales en los que se han obtenido buenos resultados, así como en los estados de Carolina, Florida, etc., sin embargo no se ha acometido la recuperación de ningún barco de importancia aunque las condiciones de conservación de la madera en las aguas cálidas del Caribe y Golfo de Méjico son poco propicias para dicha conservación⁶⁵.

De los estados caribeños se debe mencionar actividad incipiente o de cierta importancia, más en rescate o recuperación de restos materiales que en restauración propiamente dicha en: Cuba, República Dominicana, Puerto Rico y Bahamas y las Antillas menores. En Cuba una política decididamente desacertada respecto a este patrimonio nos ofrece más sombras que luces con actividad de algunas agencias paraestatales que han recuperado abundante material, algunos de ellos tratados y consolidados, siempre de periodos históricos relativamente recientes, pero sin constancia de una labor rigurosa de investigación en el proceso de excavación. La ausencia de publicaciones⁶⁶, endémica por otra parte en estas latitudes no facilita la lectura y comprensión del panorama general. En la actualidad parece que hay una mayor sensibilidad y conciencia de la falta de rigor aplicada hasta ahora y se intentan corregir los errores, pero es pronto para juzgar.

República Dominicana ha sido uno de los objetivos privilegiados para la investigación en este campo, casi exclusivamente desde el exterior con cooperación local aunque la tendencia puede corregirse. Investigaciones a cargo de estudiosos locales bien documentadas⁶⁷ abrieron la veda a una presencia importante de equipos extranjeros que se han polarizado en cooperaciones españolas no oficiales con financiación privada por un lado, que pusieron su atención en los barcos que transportaban mercurio para las minas de plata americanas y por otro actuaciones llevadas a cabo por el equipo norteamericano del INA. En la actualidad trabajan en la zona de Corpus Cristi, cerca de la frontera con Haití, donde se han localizado numerosos naufragios, algunos de ellos ya estudiados o intervenidos parcialmente. La creación de una estructura estatal la ONPCS, Oficina Nacional para el Patrimonio Cultural Sumergido, que cuenta con estructura administrativa, almacenes y laboratorios preventivos y de tratamiento de inorgánicos, por ahora metales, piedra y cerámica, es un buen comienzo⁶⁸.

Puerto Rico por su parte dispone de una estructura oficial para el control, seguimiento y exploración de las costas para intervenir y proteger este patri-

monio y eventualmente actuar sobre él. Disponen de un pequeño laboratorio preventivo para actuaciones de urgencia.

Méjico, el otro gran país al sur de Estados Unidos, cuenta ya con una dilatada tradición en todos los niveles de la protección, empezando por la existencia de regulación legal, así como por la presencia de una estructura administrativa y científica con personal altamente cualificado para ello. Muy en la línea de la escuela del INA con quienes mantienen unas excelentes relaciones han iniciado hace varios años una serie de actividades e intervenciones en restos de barcos españoles y de otras nacionalidades, sin olvidar el control de exploraciones en lugares indígenas como pozos sagrados, embarcaciones indígenas, etc.⁶⁹ La puesta en servicio de laboratorios apropiados permite tener un control suficiente por ahora sobre la actividad que se realiza en la zona.

Canadá, en el norte, es uno de los grandes en arqueología subacuática, más por su preocupación, capacidad de formación, rigor en los proyectos ejecutados, legislación apropiada y actividad en el campo internacional a favor de la protección de este patrimonio que por el número de proyectos realizados. El programa estrella sobre el que se trabaja todavía ha sido la excavación en las frías aguas de la Península del Labrador, de una embarcación de balleneros vascos del siglo XVI que se desplazaban a aquellas latitudes para llevar a cabo su actividad pesquera en persecución de los cetáceos. La dificultad del trabajo en aguas con temperaturas al límite de lo soportable fue un modelo de planificación y rigor hoy considerado ya como arquetipo. La conservación de materiales de todo tipo, la publicación de resultados y la reproducción del modelo son una muestra del modo riguroso de trabajar del equipo formado por Robert Grenier al amparo del proyecto de Red Bay⁷⁰.

En lo que respecta a los países del subcontinente sur, la actividad es menor destacando Argentina con el proyecto de la Goleta *Swift* en la zona meridional del país. El trabajo de investigación, y actuación directa así como la publicación preliminar de los resultados es correcta aunque se acusa la falta de laboratorios especializados capaces de afrontar trabajos de mayor envergadura, asunto que puede resolverse en el futuro⁷¹.

La República Oriental de Uruguay es un caso aparte ya que la intensa actividad de buscadores de tesoros con actuaciones muy negativas, casos de puerto de Montevideo o el supuesto e inexistente Preciado, cuando en realidad se trata del Nuestra Señora de la Luz, han marcado una tónica negativa que es urgente corregir mediante la promulgación de una legislación nacional apropiada y con el control de las actividades científicas en materia de patrimonio por las autoridades civiles. Un patrimonio rico que no obstante ha estado salpicado de escandalosas intervenciones como las aludidas, además del Asunción y el Agamenón, ambos en aguas de la bahía de Maldonado Punta del Este, en la boca del Río de la Plata y otras de menor trascendencia. Las buenas intenciones y gestiones de la administración del Estado a través de las autoridades de Marina y la Comisión Nacional de Patrimonio no han logrado evitar los abusos y expolios aludidos.

La actividad se reduce drásticamente en el resto del área, si bien se experimenta paulatinamente la necesidad de intervenir al menos preventivamen-

te para evitar males mayores. Chile con experiencias cortas y poco fructíferas, Colombia intentando controlar la situación ante el cerco e insistencia de los buscadores de tesoros, lo mismo que Perú, de la que desconocemos casi todo al igual que Venezuela, constituyen focos por ahora dormidos que pueden activarse en cualquier momento.

En el resto de los continentes el panorama empieza a despertar aunque la información es mucho menor. Las actividades en aguas del Pacífico oriental reviste tintes de fantasía con operaciones de rescate muchas veces con planteamientos poco escrupulosos que ponen en peligro un patrimonio, que los promotores de proyectos con la connivencia de autoridades poco o nada concienciadas, tienden a menospreciar para sus fines no económicos. India, a través de organismos oficiales, empieza a entrever las posibilidades de un patrimonio arqueológico subacuático por hoy casi desconocido⁷², China empieza a interesarse por la actividad pero sus inicios no parecen revestir un fin científico sino más bien una explotación comercial o turística. Filipinas permite actuaciones muy cuestionadas como la excavación espectáculo llevada a cabo sobre el Galeón *San Felipe*, del que se recuperaron importantes lotes de materiales que se han vendido y dispersado, contraviniendo todos los principios de la ética científica y las recomendaciones internacionales. Australia mantiene una actividad regulada adecuadamente desde las administraciones y los museos marítimos conservan adecuadamente colecciones de objetos extraídos de los fondos marinos y la documentación correspondiente constituyendo un nada despreciable aporte económico por medio del turismo cultural. Sud África, Mauricio, y otros países empiezan a considerar este patrimonio como objetivo a preservar y estudiar en vista de las potencialidades turísticas que encierra. La actividad sobre él es por el momento de control y algunas intervenciones menores para localizar, documentar y eventualmente proteger con los medios disponibles.

Tratamiento preventivo: «Más vale prevenir...»

Hemos visto más arriba que una larga lista de países con actividad en arqueología subacuática en grado muy desigual, no se corresponde linealmente con los medios que ponen en juego para la protección, conservación y recuperación para fines culturales y su exposición en museos del mismo.

Transcurridos ya muchos años desde el momento en que se produjeron los grandes descubrimientos y proyectos que culminaron con la extracción de barcos completos o en parte, de buen tamaño, lo que obligó a dotarse de laboratorios especializados en el tratamiento de estos delicados materiales, el panorama sigue siendo bastante parecido. Es cierto que hay nuevas instalaciones y otras están a punto de ponerse en marcha, pero sin embargo el aumento de necesidades se ha multiplicado exponencialmente mientras que la preocupación por el tratamiento y restauración avanza con gran lentitud.

Empieza a haber atisbos de racionalidad en el crecimiento de programas preventivos de localización, documentación y protección *in situ*, pero todavía son escasos y poco sistemáticos para las necesidades que surgen diaria-

mente mientras que el interés crece con fuerza y son muchas las voces que claman por llevar a cabo proyectos e intervenciones con pocas o ninguna garantía de conservación y dudoso futuro dado que el componente de la explotación, incluso comercial, sobrevuela dicho panorama.

Hoy día sabemos que es imposible y nada recomendable emprender una política cultural de excavación y extracción indiscriminada de restos sumergidos por muchas razones, entre las que es importante recordar la insuficiencia de equipos científicos preparados para ello en gran parte del mundo, la incapacidad de los laboratorios, museos y centros de investigación para hacer frente la avalancha de materiales que sin duda llegarían si se decidiera excavar y recuperar varios yacimientos al mismo tiempo. Somos conscientes del costo que suponen estos proyectos, así como la larga duración de los mismos lo que con frecuencia no asegura su continuidad debido a periodos legislativos, cambios de administraciones, etc. Por todo ello el grado de incertidumbre en que se mueve el panorama actual y futuro es muy complicado por lo que conviene extremar las precauciones y asegurarse de que se mantiene o inicia tan sólo la actividad científica seria, sólida y garantizada por estructuras científicas y laboratorios de restauración estables y consolidadas.

Ante tal estado de cosas es muy deseable, más que nunca, insistir en la necesidad de las actuaciones preventivas para evitar riesgos o males mayores, así como poner en marcha programas y proyectos en los que se contemplen estas eventualidades antes de que se produzca. Llegado el caso, los tratamientos preventivos pueden evitar situaciones críticas de destrucción y pérdida irremisible de materiales y estructuras de las que ya tenemos suficientes ejemplos en el pasado para evitar repetirlos.

Un futuro comprometido

El futuro de la actividad pasa inevitablemente por comprender, asimilar y poner en práctica las premisas que quedan recogidas en la Convención de la UNESCO para el Patrimonio Cultural Sumergido ya mencionada. En la filosofía que se desprende de ella están contenidos los principios que deben prevalecer en cada caso para evitar la alteración, deterioro o destrucción de este patrimonio, tanto por agresiones antrópicas por actuaciones lesivas, obras públicas o explotaciones de recursos marinos que les puedan afectar, como por actividades dentro de proyectos formulados sin las garantías exigidas en el anexo de la Convención.

La vulgarización de los descubrimientos responde a un interés creciente por este tipo de noticias respaldadas por los poderosos medios de comunicación que con frecuencia las distribuyen sin el necesario rigor que obligaría a discernir entre la información distribuida, así como sobre la seriedad y responsabilidad científica de quienes figuran tras la noticia. Con más frecuencia de la deseable comprobamos cómo se resaltan descubrimientos que no lo son o hallazgos que tienen más de actuación pirática irresponsable que de verdaderas actuaciones de carácter científico. Es lógico que en este panora-

ma confuso se llegue a situaciones en que público, instituciones e incluso algunas administraciones no sepan a ciencia cierta a qué carta quedarse y actúen, movidos de buena fe, en dirección equivocada promoviendo operaciones que nunca debieron iniciarse y que frecuentemente no tienen continuidad ni futuro.

Como reflexión final es conveniente recordar que el Patrimonio Cultural Sumergido es un recurso con valores científicos, históricos, culturales e incluso materiales importantes. Que solamente debe considerarse como medio para acrecentar el conocimiento y enriquecer la cultura de los pueblos que lo conservan y de la sociedad en general que puede llegar a disfrutarlo, pero para ello es preciso acometer políticas conjuntas de actuación en el sentido de su conservación y protección adecuadas, así como ser conscientes que es un patrimonio finito, un recurso no renovable, que se agota a mucha mayor velocidad que se produce y que desde luego aquello que se pierde no se puede reponer ya que pertenece a unos tiempos ya idos. De nosotros y de las generaciones futuras depende que pueda mantenerse y trasmitirse de manera inteligente para que su valor cultural y educativo pueda ser aprovechado por la sociedad. Cualquier actuación que difiera de este planteamiento lo pone en peligro y hay que evitarla a toda costa con los medios que la sociedad pone en nuestras manos y con la colaboración internacional ya que se trata de un patrimonio lo suficientemente disperso por todo el planeta como para que todos nos podamos sentir un poco herederos del mismo, cuando no directamente implicados como en el caso de España y otros países con larga tradición naval, aunque a veces nos olvidemos de ello.

Zaragoza 3 de Febrero de 2003

Notas

¹ Exactamente en 1901 en Grecia en aguas de Anticythera y por pescadores de esponjas que accidentalmente descubren un cargamento de esculturas en mármol y bronce que serán recuperadas con nulo rigor arqueológico por las autoridades griegas y trasladadas a Atenas donde se exhiben en el Museo Nacional. No obstante precedentes anteriores, algunos en la costa española como la galera que se extrajo del puerto de Cartagena de cuya destrucción hay noticia documental de 1751, hallazgos de lingotes de plomo con sellos y marcas de época romana, Pecio de la Cativa (Cala Cativa, en Cabo de Creus) localizado a 32 metros en 1891 y recuperado un lote de ánforas itálicas pocos años más tarde.

² Pero el camino transcurrido se había ido jalonando de hallazgos y trabajos espectaculares en un momento en que estaba todo por hacer, sobre todo desde que se generaliza el uso de la escafandra autónoma en los años cincuenta. Para la historia quedaban el hallazgo de Mahdia realizado en 1907 en la costa de Túnez y excavado inmediatamente a instancias de las autoridades coloniales francesas. El descubrimiento se había detectado al aparecer repentinamente en los zocos de Túnez estatuas antiguas que levantaron las sospechas de las autoridades. Guy DE FRONDEVILLE relata los avatares de aquellas campañas en: *Un Musée au fond de la mer: I- L'épave de Mahdia*, pp. 8-16, *Le Plongeur et l'Archéologue. Confederation Mondiale des Activités Subaquatiques*, Paris 1960. Reedición por la CMAS, a cargo de M. MARTÍN-BUENO. Zaragoza 1999.

³ En los inicios de los años setenta éramos bien pocos los arqueólogos que nos sumergíamos todavía para iniciar el desarrollo de una ciencia que nos empeñábamos por razones de purismo metodológico denominar simplemente como Arqueología. Recordamos los esfuerzos en este sentido, casi apostolado, que realizamos Javier Nieto y Manuel Martín-Bueno desde el foro de las Aulas del Mar de Cartagena en sus primeras ediciones y siempre que nos era dada la ocasión.

⁴ La utilización generalizada de esta acepción por organismos internacionales en textos de convenciones, recomendaciones, etc., así como su introducción en leyes nacionales de algunos países ha hecho que se acepte por extensión. Así queda reconocido en la Convención de la UNESCO de 2001 sobre el tema.

⁵ Por ello será preferible considerarla como tal en el momento en que se llevan a cabo los primeros proyectos con una planificación metodológica rigurosa, con finalidad estrictamente científica, lo que nos dibuja una línea de demarcación bastante sinuosa dependiendo de áreas y practicantes de la misma.

⁶ No está tan lejano el tiempo en que nuestra generación anterior se asombraba de la llegada, casi intromisión, de técnicas surgidas de las Ciencias Naturales que se permitían aportaciones importantes a nuestro campo de actuación, la Arqueología.

⁷ La publicación por Frédéric DUMAS de su obra *Épaves Antiques*, Paris 1964, supuso un hito en el lanzamiento de esta nueva Arqueología.

⁸ Tailleux, Picard.

⁹ Entre 1940 y 1943 se produce el gran salto con este descubrimiento. A partir de ahí todo parecía posible en la exploración submarina. En 1947 Frédéric Dumas se sumerge hasta 98 metros con este equipo; poco tiempo después, en el mismo año, Maurice Fargues alcanzó los 120 metros pero no sobrevivió al éxito, al poco de volver a superficie. Se conocía todavía muy poco del comportamiento del cuerpo humano a esas profundidades y con esos medios técnicos y la barrera de los noventa metros utilizando aire se había intentado atravesar impunemente. En el año 1957 se alcanzarían los cien metros en España por Eduardo Admetlla en aguas de Cartagena. Eran tiempos de proezas que no obstante iban a dar paso a otros estudios científicos, a la mejora de los equipos y a todo tipo de exploraciones incluidas las arqueológicas. Para estos temas: Juan IVARS PERELLO y Tomás RODRÍGUEZ CUEVAS, *Historia del Buceo. Su desarrollo en España*. Barcelona 1987. Arthur J. BACHRACH *et alii* editores. *A Pictorial History of Diving*. San Pedro, CA. 1988.

¹⁰ Algunos manuales útiles son: Frédéric Dumas, *La Mer Antique*, Paris 1980; F. Javier Nieto Prieto, *Introducción a la Arqueología Subacuática*. Barcelona 1984; Piero A. Gianfrotta y Patrice Pomey, *L'Archéologie sous la mer*. Paris 1981, Milán 1980; Georges F. Bass. *Underwater Archaeology*. Londres 1972.

¹¹ Tan sólo a partir de la aprobación de la Ley del Mar por las Naciones Unidas se empezó a sentir preocupación por los temas de deterioro del medio marino por sobreexplotación de recursos, contaminación, etc.

¹² En 1983 en el curso de la campaña Hércules del IEO en el Estrecho de Gibraltar, se aprovecha la ocasión para tender la mano a la Arqueología en materia de prospección con los poderosos medios técnicos de los oceanógrafos.

¹³ La formación de buceadores hasta casi los años noventa residió sobre la base de la formación que se exigía a los buceadores de combate. Sólo cuando se ha abandonado el viejo sistema de enseñanza, se ha modernizado y en cierto modo "humanizado" la docencia y entrenamiento de buceadores deportivos, ha experimentado el crecimiento inusitado que ha tenido la actividad del buceo y todo lo que la acompaña, y sigue creciendo.

¹⁴ En aguas de Cartagena A. Beltrán Martínez en 1947 con la colaboración y ayuda del Capitán de Navío Jáuregui, jefe de E.M. de aquel Departamento Marítimo, y los buzos de la Armada llevaron a cabo las primeras prospecciones arqueológicas submarinas.

¹⁵ Mucho más acorde con la tradición jurídica española en legislación sobre el Patrimonio.

¹⁶ Con motivo de las distintas reuniones se editaron dos volúmenes que marcan la actualidad del tema: Lyndel V. PROTT e Ieng SRONG (eds.), *Background Materials on The Protection of The Underwater Cultural Heritage I*. UNESCO y Nautical Archaeology Society. Paris 1999; Lyndel V. PROTT, Edouard PLANCHE y Rochelle ROCA-HACHEM, *Background Materials on the Protection of the Underwater Cultural Heritage II*, UNESCO y Ministerio de la Cultura y la Comunicación de Francia. Paris 2000. Además son interesantes entre otros: Patrice POMEY, *La protection du Patrimoine Archéologique Sous-Marin. Le Cas de Marseille*. Marseille 1991. Mostafa Hassan Mostafa *et alii* (editores). *Underwater Archaeology and Coastal Management. Focus on Alexandria*. UNESCO 2000.

¹⁷ *Underwater Archaeology*, por G. F. BASS, *cit. supra*. También, G. F. BASS y Frederick H. VAN DOORNINCK, Jr. *Yassi Ada*, Vol. I. Texas A&M University Press, 1982. A éste seguirían nuevos volúmenes.

¹⁸ Participamos en 1984 en la campaña de Ulu Burum en el sur de Turquía con el profesor Bass y al preguntarle por los medios técnicos que yo había visto en el Museo de Bodrum me respondió con aquella sencilla explicación tan simple y tan ilustrativa.

¹⁹ Citamos como resumen solamente *The Vasa Museum*, de Karl ANDERS ADRUP, 1991. El proyecto cuenta con una muy nutrida bibliografía.

²⁰ Margaret Rule, *The Mary Rose. The Excavation and Raising of Henry VIII's Flagship*. Londres 1982.

²¹ Definición adoptada en el Primer Curso de Buceo Científico de la U.E., celebrado en la Isla de Elba en 1999. Ha sido aceptada por la U.E. y por organismos internacionales como las CMAS.

²² En España la rectificación de la Norma sobre Seguridad en el Buceo incluye el buceo científico *de facto*, lo mismo que queda reconocida esta figura en alguna legislación autonómica como la de la Comunidad Valenciana sobre titulaciones de buceo.

²³ Proyecto para la localización y estudio del navío español *San Telmo*, de 74 cañones, perdido en aquellas aguas en su tránsito desde Cádiz a El Callao en Perú. Campañas del Plan Nacional Antártico 1992-1993; 1993-1994 y 1994-1995.

²⁴ La obra de G. F. Bass (ed.), *Ships and Shipwrecks of the Americas*, Toledo, E. 1988 muestra esta evidencia.

²⁵ Las reticencias surgidas entre algunos países ribereños por cuestiones extrapatrimoniales, pero sí jurisdiccionales sobre temas de límites de aguas, bloquearon la firma del documento en el Consejo de Ministros, por lo que lamentablemente quedó en suspenso.

²⁶ Uno de los puntos fuertes es el refuerzo del espíritu de cooperación científica y técnica entre países para su mejor preservación, primero y para su estudio y extracción si fuera necesario y conveniente, haciéndose hincapié en la obligatoriedad de desarrollar y aplicar las medidas de conservación del mismo para evitar pérdidas irreparables como ha ocurrido en el pasado.

²⁷ *Ley del Patrimonio Histórico Español*, de 16 de junio de 1985.

²⁸ La demanda de información adecuada y el interés que despierta este patrimonio ha llevado a organizaciones de buceadores a preparar cursos específicos en los que se enseñan los rudimentos que rigen el comportamiento ante este patrimonio y que pueden habilitar a los buceadores interesados, una vez superados, a poder ser eficaces colaboradores de las administraciones e incluso de equipos científicos.

²⁹ Obras como las siguientes y otras del género evidencian esta tendencia. Lionel CASSON, *Ships and Seamanships in the Ancient World*. Princeton 1971; Jean

Rougé, *La Marine dans l'Antiquité*. Paris 1975.

³⁰ Para iniciarse en estos problemas es imprescindible consultar: Colin Pearson, *Conservation of Marine Archaeological Objets*, 1987, y *Les bois gorges d'eau, étude et conservation / Waterlogged Wood, study and conservation, Actes de la 2e Conférence du Groupe de Travail «Bois gorges d'eau» de l'ICOM*. Grenoble 28/31.8.1984.

³¹ Excavaciones realizadas bajo la dirección de Michel Colardelle, impulsor también del laboratorio del CENG de Grenoble, organizador con Regis Ramière de la Conferencia sobre maderas empapadas de 1984.

³² Por este centro han pasado las figuras más representativas de la Arqueología Subacuática francesa.

³³ Una gran operación urbanística en la que se incluían grandes aparcamientos subterráneos, que podía dejar al descubierto la zona portuaria fluvial de la ciudad de Burdeos a lo largo de la historia, frente a la Plaza de la Bolsa, hizo que por parte de la autoridades municipales y del Gran Burdeos, junto con la administración central, regional, universidad y CNRS y las empresas constructoras, con el apoyo de algunos asesores externos incluido algún extranjero, se pusiera en marcha un gran plan preventivo para prever las posibilidades de aparición de restos saturados en agua y las medidas adecuadas para su tratamiento y recuperación. Dicha operación sabiamente coordinada en la instancia política por el Alcalde de Burdeos y Ex Primer Ministro de Francia, Sr. Alain Juppé y dotada con los medios suficientes en personal científico y técnico así como en recursos económicos ha venido actuando sin dificultades y a satisfacción de todos, lo que es una prueba evidente de la necesidad de planificar adecuadamente medidas preventivas a la hora de acometer grandes proyectos urbanísticos, obras públicas, etc. hoy habituales.

³⁴ Olaf Olsen y Ole Crumlin-Pedersen. *Five Viking Ships from Roskilde Fjord*. Copenhagen 1985.

³⁵ Entre ellos el *Fran* con el que Admunsen realizó sus expediciones polares.

³⁶ FEDE BERTI, *Fortuna Maris. La Nave Romana di Comacchio*. Bolonia 1990.

³⁷ Sobre el gran hallazgo de Pisa ver: Stefano BRUNI (dir.), *Le navi antiche de Pisa*. Florencia 2000.

³⁸ La porción de nave descubierta estuvo a punto de ser trasladada a los laboratorios de la Universidad de Zaragoza en España para su tratamiento y recuperación. Lamentablemente en el último momento, la negativa de las autoridades italianas para la exportación temporal del bien, anuló la operación en el momento en que iba a ser izada al barco que la transportaría junto al resto del equipo, por lo que fue enterrada de nuevo y protegida en el fondo marino. No hay noticias de su recuperación posterior y tratamiento. Manuel MARTÍN-BUENO y Julio AMARÉ, *Proyecto Cavoli: Una nave aragonesa del siglo XV hallada en Cerdeña*, Zaragoza 1991; Manuel MARTÍN-BUENO (dir.), *La Nave de Cavoli y la Arqueología Subacuática en Cerdeña*, Zaragoza 1993. En ambas se recoge abundante bibliografía de referencia.

³⁹ En Sassari se viene experimentando desde hace algunos años ya que los restos sumergidos son muy abundantes.

⁴⁰ Università degli Studi della Tuscia, Viterbo, *Conservazione Beni Culturali. Guida dello Studente, anno accademico 2002-2003*, www.unitus.it. Los estudios de estas especialidad, única por el momento en Italia, están bajo la dirección del profesor Piero Gianfrotta.

⁴¹ Es un hecho aceptado que si la puesta en marcha del Centro Nacional de Cartagena se hubiera producido unos años antes hubiera permitido más eficazmente la consolidación de esta nueva especialidad con lo que tras la transferencia de competencias hubiera podido existir una política común más coherente.

⁴² Las otras instalaciones capaces de recuperar maderas saturadas en agua y

otros materiales orgánicos son el Centro Arqueología Subacuática de Cataluña (CASC), radicado en Gerona, y la Unidad de Arqueología Subacuática del Departamento de Ciencias de la Antigüedad de la Universidad de Zaragoza. Ambos centros disponen de liofilizadores aptos para dicho tratamiento. Zaragoza ha experimentado y resuelto también con éxito el tratamiento de importantes cantidades de papel empapado procedente de inundaciones en archivos.

⁴³ El centro de investigación de Cádiz, en el Balneario de la Palma alberga a los investigadores y equipos de actuación, documentación, archivos, etc. , mientras que el referido Instituto Andaluz del Patrimonio en Sevilla centraliza los laboratorios de restauración que proyectan ocuparse también de materiales de procedencia subacuática. La capacidad técnica y de personal es correcta para la labor que se lleva a cabo actualmente, sobre todo de documentación y algunas urgencias ya que parte de esta actividad de urgencia se contrata a empresas privadas. La Serie de publicaciones del Instituto sevillano es un buen vehículo de transmisión y divulgación de conocimientos.

⁴⁴ Los de Mera llevados a cabo hace años, en la década de los ochenta, por Clara Garrido y otros, fueron prospecciones con algunos resultados interesantes, lo mismo que las realizadas de forma menos sistemática durante largo tiempo en las inmediaciones del Castillo de San Antón en La Coruña. El primer proyecto de cierta envergadura fue la excavación llevada a cabo en Finisterre en 1987. Manuel MARTÍN-BUENO, *Costa da morte: Atopámo-la Historia*, Vigo 1989.

⁴⁵ Fruto de estos intentos fue la celebración durante varios años consecutivos de las Jornadas de Arqueología Subacuática en Asturias, organizadas por la Universidad de Oviedo que publicó las actas de las tres ediciones celebradas a comienzos de los años noventa.

⁴⁶ De los trabajos se dieron noticias parciales en algunos catálogos de exposiciones como *La Mar en Cantabria*, por parte del Museo de Santander, pero el grueso del material (sobre todo cerámico) y las conclusiones definitivas no se han publicado todavía.

⁴⁷ Los trabajos en estos puntos están coordinados por el LIAS del Museo Marítimo del Cantábrico de Santander en el proyecto Carta Arqueológica Subacuática de Cantabria (CARSUCAN), bajo la dirección de J. Luis Casado Soto y patrocinio del Gobierno de Cantabria. Una de sus últimas actuaciones, en curso, es el estudio de uno de los pecios de Santoña, situado en el canal de acceso frente a la localidad, procedentes de los enfrentamientos de los buques de la Armada Española con el Almirante francés y Arzobispo de Burdeos en el siglo XVII. Las prospecciones llevadas a cabo a inicio de los años noventa dentro del Programa de Arqueología Subacuática del V Centenario no dieron los resultados apetecidos por deficiente planificación y preparación.

⁴⁸ En arqueología terrestre se han realizado algunas campañas de excavaciones en instalaciones de antiguos astilleros a cargo del Area de Arqueología de la Universidad de Cantabria bajo la dirección de Miguel Cisneros Cunchillos en los años noventa. Consultar: Miguel CISNEROS, Rafael PALACIO y Juan M. CASTANEDO, *El Astillero de Colindres (Cantabria) en la época de los Austrias menores. Arqueología y Construcción naval*. Santander 1997. Con prólogos de Manuel Martín-Bueno y Francisco Fernández.

⁴⁹ Puede tener interés para conocer el panorama general de la zona consultar el *Ier Simposio de Historia de las Técnicas. La construcción naval y la navegación*. Cantabria, Octubre de 1995, *Centro de Estudios Astillero de Guarnizo*. Santander 1996.

⁵⁰ Aquella excavación de Laredo fue la "Excavación arqueológica en el Bajo de «El Doncel» (Años 1995-2000)", bajo la dirección de D. Baldomero Brígido, archivero municipal, promovida por el consistorio de Laredo. Los trabajos con insuficiente planificación metodológica aportaron sin embargo una notable cantidad de

objetos, entre ellos grandes cañones de hierro que fueron resturados, como el resto, por la empresa Pool Dicyson. S.L. de Madrid mediante contrato de servicios con el Ayuntamiento de Laredo de 18/04/00. Los resultados no han sido satisfactorios y los cañones, una vez dado por concluido su tratamiento por la empresa, vuelven a estar desestabilizados con peligrosas exhudaciones.

Con posterioridad el Ayuntamiento de Laredo solicitó al prof. Manuel Martín-Bueno de la Universidad de Zaragoza un estudio de evaluación de la situación de sus aguas en relación con el Patrimonio Cultural Sumergido que fue seguido por el encargo de llevar a cabo el estudio de valoración y estimación de este Patrimonio en las aguas de la Bahía. Hecho el proyecto y obtenidos los permisos oficiales se ha actuado en documentación y prospección con medios técnicos mediante sonar de barrido lateral, magnetometría y penetrador de lodos con posicionamiento mediante GPS georreferenciado, elaborando un SIG en el que se ha dispuesto toda la información obtenida. El informe final de esta fase elaborado por la Universidad de Zaragoza y Esgemar: *Investigación Arqueológica Subacuática aplicando técnicas geofísicas marinas en el entorno del litoral de Laredo*, Campaña Laredo-sub'02, 2002, se ha entregado en Diciembre del 2002 al Ayuntamiento de Laredo y Consejería de Cultura y Deporte del Gobierno de Cantabria. Está prevista la continuación con actuaciones selectivas en algunos de los puntos seleccionados como fértiles.

⁵¹ La actividad se inició en los años setenta por INSUB de San Sebastián en una meritoria labor de recuperación de información y recogida y mantenimiento en condiciones aceptables de algunos materiales extraídos del agua. Más recientemente la creación del Museo Marítimo en el Acuario de San Sebastián y el Museo Naval de Bilbao deben significar una revitalización decidida de la preocupación por este patrimonio tan vinculado a la cultura vasca.

⁵² Desde 1974 se vienen llevando a cabo actividades docentes y de investigación en este campo, siendo la primera universidad española que introdujo esta especialidad en cursos académicos, de forma continuada en Doctorado y ahora Tercer Ciclo, extendido a Segundo Ciclo con extensión más limitada. Las campañas de prospecciones y excavaciones en: Hguer, San Vicente de la Barquera, Laredo, Finisterre, Estrecho de Gibraltar, Ensenada de Bolonia, Bahía de Algeciras, Denia, Cávoli en Cerdeña, Mar Rojo, Antártida, le han dado una amplia experiencia. Paralelamente desarrolló un laboratorio de tratamiento de materiales empapados con eficacia en el tratamiento de metales y orgánicos (madera, papel, etc.) Mantiene colaboraciones en estos temas, en asesoramiento técnico y en normativas de patrimonio subacuático con varios países, organizaciones intergubernamentales e internacionales.

⁵³ La actividad potenciada desde hace más de veinte años por Francisco Alves desde el Centro Nacional de Lisboa ha conseguido crear un equipo eficiente así como controlar los hallazgos e investigaciones y elaborar la Carta Arqueológica Subacuática de Portugal, pese a haber sufrido momentos de extrema dificultad a causa de la promulgación de normas legales de peligrosa aplicación.

⁵⁴ Sería difícilmente comprensible la actividad científica en Turquía sin haber contado con la presencia privilegiada del INA, fundado por G. Bass, que ha hecho de las costas turcas y sus excepcionales yacimientos un campo de experimentación y formación de personal formidable.

⁵⁵ Honor Frost es la figura de referencia para la Arqueología Subacuática en Israel, si bien las universidades, Haifa por ejemplo, han sabido entender y asimilar el problema de este campo de la investigación.

⁵⁶ Allí se actuó con más entusiasmo que medios por parte de equipos en los que el voluntarismo y la «búsqueda del tesoro» se antepusieron a una adecuada planificación arqueológica con los resultados de todos conocidos.

⁵⁷ Por un lado Ives Empereur, arqueólogo francés del CNRS, avalado por el IFAPO llevó a cabo campañas de exploración con resultados poco espectaculares

por lo limitado de sus objetivos y medios. Por otro, una iniciativa privada bajo la dirección del no arqueólogo Frank Goddio, con apoyo financiero importante de EDF, logró recuperar unas esculturas monumentales y otros materiales dispersos por los fondos marinos cuya información, adecuadamente tratada por los medios de comunicación hasta el exceso, tuvo gran difusión aunque resultados científicos bien modestos.

⁵⁸ Recientemente en el 2001 un equipo de la televisión alemana con ayuda de las autoridades libias y de buceadores de la Federación de Actividades Subacuáticas de aquel país ofrecían un reportaje en el que se ponían en valor diversos pecios inéditos de época romana naufragados en sus costas. La voluntad de aquel país es abrir paulatinamente las puertas a la investigación en este campo.

⁵⁹ En un breve artículo de Frédéric Dumas en 1960, *Un Musée au fond de la Mer: I- L'Epave de Mahdia*, nos ponía al corriente de las circunstancias y desarrollo de aquellas campañas realizadas por la administración colonial francesa desde su descubrimiento en 1907.

⁶⁰ En la actualidad Croacia cuenta con un responsable, arqueólogo, en la administración del Estado para estos temas. Los inicios de acuerdos con organizaciones internacionales para la formación de técnicos puede ser un comienzo esperanzador para una costa evidentemente fértil.

⁶¹ El interés en Serbia se centra sobre todo en los establecimientos fluviales, tanto en la frontera del limes danubiano como en su principal afluente. En sus orillas se han localizado restos de establecimientos de control de frontera, guarniciones de época romana, así como algunos restos de embarcaciones y material diversos de procedencia subacuática. Por el momento se realizan trabajos de documentación y esporádicamente de recuperación de algún objeto para los que no se dispone de laboratorios especializados de tratamiento.

⁶² Tal vez el país más activo en esta especialidad con actividades, prospecciones, reuniones y algunas publicaciones interesantes. Sozopol es el centro de la actividad en la materia.

⁶³ A título informativo historiadores y buceadores húngaros emprendieron hace unos años acciones para documentar el hundimiento de un buque de guerra muy emblemático para ellos de la armada Austro-Húngara en la primera Guerra Mundial, que se hundió frente a las costas de Croacia en su primera singladura por un torpedo italiano a una profundidad de noventa metros, el San Esteban, acorazado construido con tecnología moderna para la época, de origen húngaro. Las dificultades de las inmersiones a esa gran profundidad y el hecho de que el buque se encuentra en posición invertida ha dificultado los intentos de reconocerlo más detalladamente.

⁶⁴ No vamos a insistir en operaciones como la del Atocha protagonizada por el equipo del industrial Mel Fisher ni de otros nombres como Robert Marx pioneros en el expolio de galeones y otros yacimientos subacuáticos en los años sesenta y setenta.

⁶⁵ La tradicional Broma o *Teredo Navalis*, tan abundante en las cálidas aguas tropicales no ha favorecido la conservación de la madera salvo cuando los restos quedaron enseguida cubiertos por sedimentos, circunstancia infrecuente en zonas de arrecifes coralinos como las indicadas.

⁶⁶ CARISUB (ed.) *Naufragio en Inés de Soto*. La Habana 1998. Esta monografía constituye tal vez el punto de inflexión hacia una nueva etapa.

⁶⁷ Pedro J. BORRELL, *Arqueología Submarina en la República Dominicana*. Santo Domingo 1983; *Historia y rescate del galeón Nuestra Señora de la Concepción*. Santo Domingo 1983; *Inventario del rescate del galeón Concepción*, Santo Domingo 1985; Pedro J. SANTIAGO. *Estudios sobre comercio marítimo, naufragios y rescates submarinos en la República Dominicana*. Santo Domingo 1990.

⁶⁸ Además de la bibliografía existente en los últimos años se aprecia un renovado interés oficial que se ha traducido en la renovación de la ONPCS, dotación de personal y más medios, así como la reorganización de sus almacenes, inventarios y archivos y una campaña sistemática de restauración paulatina de los materiales extraídos con anterioridad, así como el control de los muchos, sobre todo madera y hierro, que permanecen en agua en espera de futuras actuaciones de recuperación. La celebración en el 2000 del Congreso de Buceo Científico de la CMAS (Confederación Mundial de Actividades Subacuáticas) con gran participación nacional e internacional, en colaboración con la ONPCS supuso un importante espaldarazo a su gestión y un punto de encuentro para las actividades subacuáticas del Caribe, especialmente la Arqueología.

⁶⁹ La actuación de mayor importancia es el Proyecto de Investigación de la Flota de la Nueva España de 1631, bajo la dirección de Pilar Luna Erreguerena, responsable de la Subdirección de Arqueología Subacuática del Gobierno de Méjico.

⁷⁰ Abundante bibliografía de este autor, de ella: Robert GRENIER. *Underwater Survey on Two Mid-Sixteenth-Century Basque Sites with Discovery of a Galleon on the coast of Labrador*. Conference Underwater Archaeology (Nashville, Tennessee), 1979. Agustín AZCARATE, José Antonio HERNÁNDEZ, Julio NÚÑEZ. *Balleneros Vascos del siglo XVI. Estudio Arqueológico y contexto histórico (Chateau Bay, Labrador, Canadá)*, Vitoria 1992.

⁷¹ El equipo dirigido por Dolores Elkin lleva a cabo una labor meritoria dignificando esta especialidad en Argentina.

⁷² No obstante la celebración de algunos congresos, al menos desde 1987 y recientes informaciones a través de la Federación India de Actividades Subacuáticas indican actividad con hallazgos variados y de gran espectacularidad aunque poco difundidos fuera de la zona. Algunos proyectos se realizan con el apoyo del Instituto Nacional de Oceanografía, actualmente muy implicado en la conservación e investigación del medioambiente marino. S.R. RAO (ed.), *Marine Archaeology of Indian Ocean Countries, Proceedings of the First Indian Conference*, Octubre 1987, National Institute of Oceanography, Dona Pula, Goa 1988.

⁷³ Vuelve a aparecer la figura del aficionado y empresario Frank Goddio al frente de su fundación en proyecto que contó con la inexplicable cobertura mediática de *National Geographic*. Años más tarde un lote de cerámicas procedentes del mismo fueron adquiridas por una entidad de ahorro española para ser depositadas en el Museo Naval de Madrid, no sin discrepancias por parte de algunos investigadores españoles en Arqueología Subacuática, por lo improcedente, a nuestro juicio, de dicha adquisición.

**LÍNEAS DE ACTUACIÓN PARA UNA EFICAZ
PROTECCIÓN DEL PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO
SUBACUÁTICO**

Luis LAFUENTE BATANERO
Subdirector General de Protección de Patrimonio Histórico
Ministerio de Educación y Cultura

1. Introducción

En las páginas siguientes he pretendido hacer una reflexión general sobre las líneas básicas que, a mi entender, deben ser las guías fundamentales para llevar a cabo una política eficaz de protección, en su sentido más general, del Patrimonio Arqueológico Subacuático.

Para atacar el problema, en primer lugar, se debe precisar conceptualmente qué entendemos por patrimonio arqueológico y para ello debemos acudir a conceptos jurídicos, dejando de lado cualquier otro tipo de definición.

El aspecto competencial es otro elemento a tener en cuenta. Es necesario saber qué Administración Pública es competente en cada caso, para que pueda asumir sus responsabilidades y no se produzcan situaciones de indefensión contra este patrimonio. También aludiremos de modo somero a las competencias que tienen otros departamentos ministeriales sobre el dominio público marítimo-terrestre que provoca una mayor complejidad respecto a las actuaciones administrativas. Ciñéndonos al Patrimonio Arqueológico Subacuático, mención especial tienen aquellos departamentos ministeriales que juegan un papel fundamental en su protección, a todos los niveles.

El epicentro de este artículo será el análisis de las actuaciones que se deben llevar a cabo para la protección del Patrimonio Arqueológico Subacuático. En este sentido, es primordial separar las actuaciones que hay que realizar a nivel interno, dentro de las aguas jurisdiccionales nacionales, con las actividades que se deben desarrollar en el exterior, para proteger los intereses y derechos propios sobre los pecios españoles hundidos en aguas de terceros países o internacionales.

Finalizaremos con unas propuestas y conclusiones que considero que deberían ser las pautas a seguir para poner en marcha este ambicioso plan de protección del Patrimonio Arqueológico Subacuático.

2. Precisiones conceptuales

¿Qué se entiende por patrimonio arqueológico? En este trabajo nos vamos a ceñir estrictamente al concepto jurídico y consideraremos por tanto las normas hoy vigentes.

Si bien con la *Novísima Recopilación* de Carlos IV (1804) se protegían los objetos y restos de construcciones antiguas, es decir, el elemento temporal era definitivo para gozar de esa protección jurídica, este concepto fue rápi-

damente superado y a lo antiguo se añadió, a efectos de dotarles de protección jurídica, aquellos que tuvieran otros valores, como lo artístico o bello, y más adelante los de interés científico, técnico, histórico... Por entonces en las normas no aparecía el término "arqueológico".

Con el concepto de Patrimonio Arqueológico sucedió una cosa parecida. La Ley de 1911 hablaba, al definir las excavaciones de restos de construcciones o antigüedades, de aquellas que se hicieran en busca de restos paleontológicos, siempre que en ellos se descubrieran objetos correspondientes a la arqueología; luego, por antigüedades se entendía los objetos de arte y productos industriales de las edades prehistóricas, antigua y media.

Este concepto va a variar con el paso de los años y el factor tiempo dejará de ser el elemento definidor, si bien no deja de tener su importancia, sino que va a ser la metodología de trabajo (la arqueología) y los resultados de ese trabajo, la que va a definir el contenido del Patrimonio Arqueológico. El Reglamento de 1912, que desarrolla la Ley de 1911, es la primera norma que habla de "trabajos de rebusca arqueológica que tengan carácter espeleológico o submarino u otros similares." Es aquí donde encontramos, por primera vez en la historia de nuestro ordenamiento jurídico, la primera referencia expresa a la arqueología subacuática.

En este sentido, y por situarnos en la normativa actual, debemos comenzar analizando la Constitución de 1978, en la cual no aparece en ningún artículo el término "patrimonio arqueológico" sino que utiliza el término más genérico de "...patrimonio histórico, cultural y artístico de los pueblos de España y de los bienes que lo integran..." En los artículos de reparto competencial tampoco aparece ninguna alusión. Cabe deducir que ese término general "patrimonio histórico, cultural y artístico" engloba sin ninguna duda, el concepto de "Patrimonio Arqueológico" como luego así lo especifica la ley.

Vamos a ceñirnos al concepto jurídico de patrimonio arqueológico, para no adentrarnos en definiciones científicas, histórico-artísticas, o de convenios internacionales. En este sentido, debemos acudir a las definiciones que encontramos en nuestro ordenamiento jurídico, estatal o autonómico, si bien aquí vamos a referirnos solamente a las definiciones establecidas en la Ley 16/1985, del Patrimonio Histórico Español, porque al fin y al cabo, los conceptos jurídicos establecidos en la ley estatal han alumbrado las redacciones conceptuales de las normas autonómicas.

En primer lugar, debemos dejar aclarado sin que exista ninguna duda que el Patrimonio Arqueológico, y por ende el Patrimonio Arqueológico Subacuático, forma parte del Patrimonio Histórico Español. Basta con acudir a la definición que establece el artículo 1.2 de la Ley 16/1985, del Patrimonio Histórico Español que dice: "Integran el Patrimonio Histórico Español los inmuebles y objetos muebles de interés artístico, histórico, paleontológico, arqueológico, etnográfico, científico o técnico. También forman parte del mismo el patrimonio documental y bibliográfico, los yacimientos y zonas arqueológicas, así como los sitios naturales, jardines y parques que tengan valor artístico, histórico o antropológico."

Este concepto, con escasas variaciones, se reproduce en las diversas leyes autonómicas. Es un concepto muy general, amplio, que engloba asimismo conceptos muy heterogéneos y a su vez extensos, como el Patrimonio Documental, el Bibliográfico, Etnográfico o el propio Patrimonio Arqueológico.

Aclarado esto vamos a definir el concepto de Patrimonio Arqueológico.

El concepto jurídico lo encontramos en el artículo 40 de la Ley 16/1985, del Patrimonio Histórico Español, que inicia el Título V de la Ley, que se titula "Del Patrimonio Arqueológico " que consta de seis artículos.

Antes de analizar el concepto, debería destacar que, el mero hecho de dedicar un título ex profeso al patrimonio arqueológico, supone dos aspectos importantes:

- Primero: Reconocerle una importancia jurídica especial, dada la relevancia que tiene en el conjunto de nuestro patrimonio histórico.

- Segundo: Configurar un régimen jurídico especial, que trata de adaptar las normas jurídicas protectoras a la especificidad de este patrimonio, mucho más frágil y complejo, para el cual el régimen jurídico general de los Bienes de Interés Cultural (BIC) o de los bienes muebles inventariados o de los bienes meramente del Patrimonio Histórico Español es insuficiente.

Junto a los bienes de los patrimonios etnográfico, bibliográfico y documental, así como los bienes muebles de titularidad eclesiástica o de titularidad de las administraciones públicas, constituyen los regímenes jurídicos especiales que establece la Ley.

El artículo 40 de la Ley bajo el epígrafe del título IV "Patrimonio Arqueológico" dice lo siguiente:

"Forman parte del Patrimonio Histórico Español los bienes muebles o inmuebles de carácter histórico, susceptibles de ser estudiados con metodología arqueológica, hayan sido o no extraídos y tanto si se encuentran en la superficie o en el subsuelo, en el mar territorial o en la plataforma continental. Forman parte, asimismo de este Patrimonio los elementos geológicos y paleontológicos relacionados con la historia del hombre y sus orígenes y antecedentes".

Analizando este concepto podemos profundizar mucho más en su significado, como han hecho diversos autores, como José Luis Álvarez y Juan Manuel Alegre Ávila:

- Primero: cabe destacar como ya se ha dicho con anterioridad, que el patrimonio arqueológico forma parte del Patrimonio Histórico Español, y éste se define en el artículo 1.2 de la Ley 16/1985. No es un patrimonio aparte, sino que se integra en el concepto general de Patrimonio Histórico Español, por tanto, se le aplicará la protección jurídica prevista para éstos (inmuebles o muebles BIC, muebles inventariados, etc.) y además, el régimen especial del Título V.

- Segundo: lo forman bienes tanto muebles como inmuebles, con naturalezas distintas, con regímenes jurídicos diferentes, pero susceptibles de tener valores arqueológicos.

- Tercero: estos bienes deben ser susceptibles de ser estudiados con metodología arqueológica y tener un carácter histórico. En este sentido, recordar que la arqueología no es una época histórica, sino un método científico con técnicas específicas para poder estudiar la Historia. Con los métodos arqueológicos se pueden estudiar épocas no sólo prehistóricas o antiguas sino incluso modernas o contemporáneas (arqueología industrial). Cabe destacar la diferencia sustancial del concepto de patrimonio arqueológico que existe entre nuestro ordenamiento jurídico y el de los países iberoamericanos, en los que patrimonio arqueológico es todo aquello que existía antes de la llegada de los españoles, sin tener en cuenta el aspecto metodológico. Es una referencia temporal que, a veces incluso, se traduce en una fecha concreta.

- Cuarto: el Patrimonio Arqueológico lo constituyen bienes que hayan sido o no extraídos. De lo que se trata es de proteger jurídicamente el patrimonio arqueológico que es conocido, que haya sido estudiado o no, extraído o no, como también se protege incluso el que aún no se conoce. Es decir, los yacimientos conocidos, los potenciales (castillos, pecios) que son conocidos, hayan sido o no estudiados, pero también quedan protegidos los que ahora no se conocen y serán conocidos en un futuro por obras o hallazgos casuales.

- Quinto: los bienes del patrimonio arqueológico se protegen con independencia de que se encuentren en la superficie, subsuelo, mar territorial o en la plataforma continental. Si bien, el subsuelo es el lugar tradicional donde se suelen encontrar los bienes arqueológicos, la definición incluye la superficie y los ámbitos de la arqueología subacuática, mar territorial o plataforma continental.

Sin entrar en definiciones jurídicas del derecho del mar (mar territorial, plataforma continental, etc.), el legislador pretendió proteger los pecios subacuáticos en las aguas jurisdiccionales españolas.

Llama la atención que no se hable para nada de los pecios españoles hundidos en alta mar o en aguas de terceros países, si bien cabe deducir que el espíritu proteccionista de la ley, deberá guiar las actuaciones del Estado español en la defensa de los intereses nacionales sobre los pecios españoles hundidos en aguas de terceros países o internacionales, tal y como se hizo en la sede de la UNESCO durante la negociación y elaboración del Convenio Internacional de Protección del Patrimonio Cultural Subacuático.

- Sexto: la Ley además incluye dentro de este concepto a los elementos geológicos y paleontológicos, relacionados con la historia y orígenes del hombre y sus antecedentes.

Si bien el legislador lo único que pretende es que estos elementos gocen también de una protección adecuada y les otorga el mismo régimen jurídico, debe destacarse que la geología es la ciencia que estudia el aspecto físico o la forma o constitución de la tierra y la paleontología estudia los seres orgánicos de épocas remotas, que se encuentran en estado fósil. Es decir, ciencias distintas pero con un tratamiento de protección jurídica igual, lo cual no supone equiparación conceptual, ni metodológica, ni científica. Algunos paleontólogos o geólogos han manifestado su disconformidad con esta equi-

paración en el tratamiento o la inclusión de sus áreas científicas dentro del concepto "patrimonio arqueológico".

Cabe destacar que debe haber una vinculación con el origen del hombre o sus antecedentes. Si no, no estaríamos ante elementos del Patrimonio Arqueológico sino ante aspectos geológicos o paleontológicos susceptibles de ser protegidos en su caso, por leyes medioambientales o de parques naturales.

3. Aspectos competenciales: Estado–Comunidades Autónomas

Al Patrimonio arqueológico en general y al subacuático en particular hay que aplicarle el reparto competencial que hace la Ley 16/1985, del Patrimonio Histórico Español en su artículo 6 y que fue ratificado por el Tribunal Constitucional en la Sentencia 17/1991. Con carácter general la administración competente para aplicar la ley en materia de patrimonio arqueológico (declaración de BIC, inclusión en el Inventario, autorizaciones administrativas de excavaciones o prospecciones, tasar el precio en el hallazgo casual para el premio, etc.) son las Comunidades Autónomas.

El Estado, solamente tiene competencia para los siguientes casos:

- Exportación de bienes arqueológicos.
- Explotación, en el sentido estricto que le otorga el R. D. 111/86, de 10 de enero de desarrollo parcial de la Ley 16/1985, de 25 de junio del Patrimonio Histórico Español.
- Patrimonio arqueológico adscrito a servicios públicos gestionados por la Administración del Estado o pertenecientes al Patrimonio Nacional.
- Realización y firma de Convenios Internacionales sobre la materia.
- Defensa de nuestros intereses arqueológicos fuera de nuestras fronteras. (p.e. pecios españoles hundidos en aguas de terceros países o internacionales).

O sea que, a pesar de las transferencias de competencias en materia de cultura, el Estado tiene todavía mucho que decir a la hora de aplicar la normativa del patrimonio arqueológico en general. Basten como ejemplos:

- Las excavaciones arqueológicas de la ampliación Museo del Prado o del Museo de las Colecciones Reales, junto al Palacio Real.

- Las excavaciones arqueológicas a realizar en solares donde van a ir edificios de nueva planta que alberguen servicios públicos estatales: nuevos juzgados en Ávila, nueva sede de la Agencia Española de Administración Tributaria en Cartagena, nueva sede de la Sección Visigoda en el Museo Nacional de Arte Romano de Mérida.

- Las excavaciones arqueológicas en monumentos donde hay servicios públicos estatales: en los patios del Museo Arqueológico Nacional o del Museo Casa del Greco, Canal de Castilla, Reales Alcázares de Sevilla, Jardines del CSIC o Patrimonio Nacional.

- Las excavaciones arqueológicas terrestres en fincas adscritas a los Servicios Públicos del Estado: campos de tiro del Ministerio de Defensa, fincas experimentales del INIA (Ministerio de Agricultura).

- Las excavaciones arqueológicas subacuáticas en servicios públicos marítimos como los Puertos del Estado o Puertos de la Armada.

Como vemos, la actividad de la Administración del Estado, a través de la Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales (Subdirección General del Instituto del Patrimonio Histórico Español, Subdirección General de Protección del Patrimonio Histórico Español, y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Subacuáticas de Cartagena) aún es muy importante, a pesar de la descentralización habida.

4. El papel de la Subdirección General de Protección de Patrimonio Histórico y del Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas

La Subdirección General de Protección del Patrimonio Histórico tiene entre sus funciones y en relación con la arqueología marítima:

- Preparar el borrador de todos los textos normativos que tengan que ver con este asunto.

- Participar en la elaboración de textos del Derecho Internacional sobre Arqueología Subacuática; siempre asistirá un representante de esta unidad a los trabajos en los foros internacionales donde se redactan, negocian y tramitan este tipo de textos.

- Acudir a las reuniones, congresos, seminarios relativos a la protección jurídica de los yacimientos arqueológicos subacuáticos.

- Gestionar la ley y el resto de normativas estatales en relación con los yacimientos arqueológicos subacuáticos que son de su competencia: autorizaciones administrativas; recabar información sobre las denuncias presentadas por los ciudadanos sobre este asunto; solicitar los informes técnicos correspondientes en base a los cuales adoptar decisiones administrativas....

- Difundir el régimen jurídico de protección de estos yacimientos, tanto nacional como internacionalmente, no sólo a la ciudadanía en general, sino entre los profesionales de actividades subacuáticas, o personas que trabajan en este ámbito.

El Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Subacuáticas (CNIAS) tiene su sede en Cartagena y depende de la Subdirección General del Instituto de Patrimonio Histórico Español, si bien constituye un solo centro administrativo con el Museo Nacional de Arqueología Marítima, el cual en esta faceta, depende de la Subdirección General de Museos Estatales.

El CNIAS tiene como funciones, dentro del ámbito de sus competencias o en régimen de colaboración con el resto de Comunidades Autónomas:

- Coordinar la práctica de las prospecciones y excavaciones arqueológicas en el fondo del mar.

- Recuperación de hallazgos fortuitos.

- Tratamiento, conservación y restauración de los materiales arqueológicos de esta procedencia, como asimismo de su inventario, valoración y estudio.

Junto a estas dos unidades hay otros departamentos ministeriales que tienen ciertas competencias relacionadas de modo más o menos directo con la arqueología marítima. Veamos someramente esta diversidad competencial:

A) Ministerio del Interior

Obviamente debe destacarse en este departamento la labor que realizan las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado en la protección del Patrimonio Histórico, tanto el Grupo de Patrimonio Histórico de la Guardia Civil, como la Brigada de Patrimonio Histórico correspondiente a la Policía Nacional que velan para que no se produzcan delitos contra el Patrimonio Histórico en sentido amplio, dentro del cual estará, cómo no, el Patrimonio Arqueológico Subacuático. Si en la arqueología terrestre cabe destacar la labor del SEPRONA (Servicio de Protección de la Naturaleza de la Guardia Civil) en la arqueología marítima juega un papel primordial la Guardia Civil del Mar o Servicio Marítimo de la Guardia Civil. Su zona de trabajo es el mar territorial y la plataforma continental donde se ubican los yacimientos subacuáticos. En la actualidad, se dispone de más de veinte embarcaciones y dentro de su plantilla cuentan con un amplio número de submarinistas profesionales. Debe aclararse que el Servicio Marítimo tiene otros cometidos esenciales, además de velar por la conservación de la protección de los yacimientos arqueológicos subacuáticos, como puede ser la lucha contra el tráfico de drogas, contra la inmigración ilegal, servicio aduanero, etc.

B) Ministerio de Defensa

En la arqueología subacuática, este Departamento tiene un papel fundamental por un triple motivo.

En primer lugar, debido a la extensa información de documentos históricos que tiene sobre muchos de nuestros barcos, sus viajes, modos de construcción naval, artillería, etc. Junto al Archivo de Indias, la Armada es un punto de referencia obligada para documentar las actuaciones a realizar, pero sobre todo, para conseguir la información necesaria para defender nuestros pecios en aguas de terceros países.

Por otro lado, debe destacarse que, algunos de los yacimientos arqueológicos subacuáticos se encuentran bajo las aguas de los Puertos de la Armada y, en este sentido, también deberán velar por la conservación de los mismos.

Pero el papel relevante que debe desempeñar el Ministerio de Defensa, a mi juicio, está por llegar. Considero que el Ministerio de Defensa debería llegar a un acuerdo con el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, y éste con aquél, en virtud del cual, en tiempos de paz y siempre que la seguridad nacional lo permita, Defensa debería prestar sus medios disponibles (barcos, fragatas, dragaminas...) para realizar campañas de protección del litoral español y sobre todo, para la realización de cartas arqueológicas en colaboración con las Comunidades Autónomas, y llevar a cabo alguna prospección o excavación. Por supuesto que, el coste de estas operaciones debería ser asumido por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

C) Ministerio de Fomento

El Ministerio de Fomento tiene diversos organismos que desarrollan su actividad y en muchos casos se relacionan tangencialmente o a veces más directamente con la arqueología subacuática. Ejemplo de ello es Salvamento Marítimo, Ente Público que se ocupa de la gestión de las operaciones de este tipo; Puertos del Estado, Ente Público coordinador de todas las Autoridades Portuarias (Entes Públicos autónomos a su vez) que existen en nuestro país y que, bajo las aguas que gestionan, se encuentran muchos yacimientos arqueológicos subacuáticos, los cuales deben ser conservados. Las obras portuarias, esto es, la remodelación de los puertos son actuaciones de gran envergadura que tendrán que ser muy sensibles con los yacimientos arqueológicos existentes en los mismos.

D) Ministerio de Medio Ambiente

Aquí hay que destacar la Dirección General de Costas que es el centro directivo que gestiona el dominio público marítimo-terrestre. Todas las adecuaciones de costas, todas las actividades marítimas, de extracción, tendido de cables submarinos, etc. deberán ser autorizadas por la Dirección General de Costas y sus unidades periféricas. Si bien, todas estas actividades no tienen que ver directamente con la arqueología subacuática, sí que pueden afectar a yacimientos.

5. Líneas fundamentales de una protección nacional de los yacimientos arqueológicos subacuáticos

Llegamos así al epicentro del artículo. Aquí voy a exponer, de modo somero, cuales deben ser, según mi criterio, las líneas que han de centrar la actuación de la Administración del Estado para la protección del Patrimonio Arqueológico Subacuático y para ello, es necesario diferenciar entre la protección en nuestras aguas jurisdiccionales, de la defensa de nuestros intereses en aguas internacionales o de terceros países.

5.1. Protección de los yacimientos arqueológicos en las aguas jurisdiccionales españolas

Respecto a este asunto voy a analizar una serie de cuestiones que considero básicas para poder desarrollar una actuación eficaz de protección. Sin más, comento diversas cuestiones por un orden estrictamente secuencial, sin que este orden suponga que estamos priorizando unas actuaciones sobre otras, pues no es ésta mi pretensión.

a) En primer lugar, se debe producir una protección jurídica *ad hoc* de los yacimientos arqueológicos subacuáticos como bienes de interés cultural, en la categoría que corresponde según cada normativa autonómica (en el caso de la ley estatal sería Zona Arqueológica).

La actividad protectora de las Comunidades Autónomas a través de las declaraciones de Bienes de Interés Cultural (BIC) es bastante significativa, pero un alto porcentaje de estas declaraciones van dirigidas a Monumentos

y Conjuntos Históricos. Son pocas las declaraciones de Zonas Arqueológicas y las pocas que existen se refieren a yacimientos terrestres. Por tanto, se puede concluir que la protección jurídica como BIC de los yacimientos subacuáticos, es una asignatura pendiente de las administraciones públicas competentes, entre las que incluyo al Estado, que no tiene ninguna declaración en los Puertos del Estado o de la Armada.

Sana envidia produce la declaración que acaba de realizar el Gobierno Panameño de todos los yacimientos arqueológicos que tienen, tanto en el Caribe como en el Pacífico, sometiendo a una férrea protección jurídica prácticamente todo su litoral y estableciendo delimitaciones costeras de zonas arqueológicas con sus entornos protegidos.

No obstante, del hecho de que no existan declaraciones BIC sobre yacimientos arqueológicos subacuáticos, no debe deducirse que los mismos carezcan de protección; al igual que para los terrestres, la ley prevé un régimen jurídico especial de protección para todos los yacimientos arqueológicos, estén o no declarados como BIC, si bien esta declaración supone una mayor protección y un mejor reconocimiento de los valores de los mismos.

b) Independientemente de las declaraciones, considero que cada Estado debe realizar el mapa arqueológico de todo su litoral. Debe quedar reflejado en Cartas Arqueológicas donde se encuentren todos los yacimientos del litoral. Obviamente estas cartas no deben ser de acceso al público.

En nuestro país, la elaboración de las Cartas Arqueológicas es competencia de las Comunidades Autónomas como hemos dicho antes. Lo cual no supone que el Estado deje de hacer sus deberes y sería conveniente que también elaborara las Cartas Arqueológicas de los Puertos del Estado y de la Armada (algunas ya las han hecho o están en ello). Asimismo, en aras del principio de cooperación, la Administración Central podría colaborar con las Autonomías para elaborar esas cartas marítimas de arqueología. No sólo se trataría de realizar una campaña de asistencia técnica y colaboración para ello, sino además de participar en la financiación de las mismas. Además, las Cartas Arqueológicas son documentos vivos, dinámicos, susceptibles de ser modificados y actualizados en su contenido a medida de que se realizan nuevos hallazgos. Algunas Comunidades Autónomas están muy avanzadas o han acabado sus mapas arqueológicos del litoral, pero otras, tristemente aún ni siquiera han comenzado.

Esta cooperación entre la Administración Central y las Comunidades Autónomas se cristalizaría en convenios bilaterales de colaboración, y en que, por parte de la primera, podría intervenir tanto el Ministerio de Defensa como el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte a través de la Subdirección General de Protección del Patrimonio Histórico y del CNIAS. El Ministerio de Defensa podría aportar los medios náuticos para llevarlos a cabo, así como la información de que dispone; mientras que Cultura aportaría parte de la financiación y la asistencia técnica.

En definitiva, se trataría de establecer un calendario para que, a corto o medio plazo, todo el litoral español estuviera bien catalogado y registrado en lo que a yacimientos arqueológicos subacuáticos se refiere.

c) Otro asunto a tratar son los Centros de Arqueología Subacuática especializados. Además del CNIAS hay centros en Cataluña, Andalucía, Valencia... Se presume que en el futuro pueden aparecer nuevos centros en otras Comunidades Autónomas. Estos centros están destinados a asumir mucho mayor protagonismo en el futuro. La riqueza de patrimonio arqueológico subacuático en nuestra costa y el avance tecnológico, así como la búsqueda de nuevos estímulos y alicientes en el panorama cultural en general y de los museos en particular, harán que su actividad se incremente; lo que conlleva emparejado es que las dotaciones de recursos humanos y financieros tendrán que ser incrementados del mismo modo que esa actividad.

Respecto al CNIAS deberá convivir junto al Museo Nacional de Arqueología Marítima, pero no debe olvidarse que éste se nutrirá principalmente de las actividades de aquél, en especial por lo que se refiere a las exposiciones temporales. El CNIAS, aparte del Museo, pero bajo un mismo director, deberá contar con una plantilla adecuada para realizar sus actividades de excavaciones-prospecciones, formación, investigación, documentación...

La realización de campañas en nuestro litoral, en colaboración con las Comunidades Autónomas en especial con aquellas que no tienen Centro de Investigación propio, ya sea en la elaboración de mapas arqueológicos del litoral o bien excavaciones puntuales, deberá ser compatible con su presencia en los países con vínculo histórico y que cuenten con pecios españoles. En cuanto a la formación, se debe convertir en el punto de referencia nacional para formar a arqueólogos subacuáticos, museógrafos del sector, conservadores y del resto de categorías profesionales vinculadas con esta actividad (botánicos, oceanógrafos....) y en todas sus disciplinas desde la arqueología propiamente hasta el tratamiento de los materiales, la museografía y la museología. Esta vertiente formativa debe tener una proyección internacional: son muchos los países iberoamericanos y del norte de África, ribereños del Mediterráneo que solicitan esta formación para sus profesionales y poco a poco, España se debe de constituir en ese punto de referencia mundial. No en vano insisto, somos la primera potencia a nivel mundial en este tipo de patrimonio.

d) Si bien hemos hablado que para que el CNIAS lleve a cabo todas estas actuaciones debe contar con la dotación presupuestaria necesaria y con los recursos humanos adecuados, ya sea en plantilla fija, ya sea mediante contratos por obra y servicio determinado, no menos importante es dotar al CNIAS con el material e instrumentos necesarios para realizar su trabajo. No vamos a realizar aquí la lista de los equipos necesarios para ello, pero sí primero aludir a una necesidad que considero básica para el quehacer diario del CNIAS. Esta es la necesidad de contar con un buque o barco de arqueología subacuática de unos 30 m. de eslora como máximo, operativo, manejable, eficaz, útil en definitiva y que esté dotado de la más alta tecnología existente en el mercado para las prospecciones y excavaciones arqueológicas subacuáticas. Este tipo de barco, que está al alcance de las empresas, lo tienen todos los cazatesoros que se precien; si bien tiene un coste elevado en términos absolutos (estamos hablando de 10 a 15 millones de euros), no lo es tanto relativamente.

En primer lugar, todo centro de investigación de la Administración Pública Estatal que su actividad tenga que ver con el mar, tiene un barco para prestar el servicio correspondiente: Salvamento Marítimo, la Guardia Civil del Mar; el Servicio de Vigilancia Aduanera; el Instituto Oceanográfico (CSIC); La Armada; el CSIC (*Hespérides*).

Sólo el Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Subacuáticas carece de ese barco para realizar sus actividades, si bien entre su plantilla hay un patrón de yate. El antiguo barco ya no es operativo. Habría que plantearse la construcción de un barco (26 meses) a pagar en tres ejercicios presupuestarios (4-7-4 millones de euros cada año) y cuyo coste total oscilase entre 10 y 15 millones de euros, ya dotado con la más avanzada tecnología a bordo (dos mini-submarinos incluidos).

La definición de las necesidades sería realizada por el propio CNIAS. El mantenimiento y puesta a punto y custodia podría ser de la Armada en su base de Cartagena, pero el coste de todo ello sería de la Secretaría de Estado de Cultura.

Es lógico reconocer que las prioridades de la Secretaría de Estado de Cultura en estos momentos es la inversión en las Instituciones Culturales de Cabecera (ampliación del Prado, del Centro de Arte Reina Sofía, de la Thyssen, del Museo del Ejército o el Plan Integral de Museos) pero habrá un momento en que dichas ampliaciones finalicen y se fijen otras prioridades culturales, entre las cuales, esperemos que esté la construcción de este barco.

e) Esta operación no debería menoscabar el papel del Ministerio de Defensa y en concreto de la Armada, ante su eventual acuerdo de colaboración, en virtud del cual prestase algún barco para la protección de los yacimientos arqueológicos subacuáticos. No estaría mal aunar esfuerzos. Es mucha la actividad y el trabajo de prospección, excavación etc. que queda por hacer y todos los recursos serían pocos, dada la riqueza que tiene nuestro país en este tipo de patrimonio.

Proteger los yacimientos de todo nuestro litoral, realizar campañas en Iberoamérica (Panamá, República Dominicana, Colombia...); responder a las peticiones de asistencia técnica realizada por países mediterráneos del norte de África (Egipto) o realizar excavaciones junto con Irlanda en busca de la Gran Armada; son misiones ambiciosas y para su realización necesitaríamos de todos los recursos posibles.

f) Siguiendo un orden lógico de actuaciones, tras completar las cartas arqueológicas del litoral (o al mismo tiempo) y dada la existencia y actividad de estos centros especializados, lo normal es que se realicen campañas de prospecciones y excavaciones, en donde el CNIAS también podría colaborar. Aquí ya se trata de utilizar la metodología arqueológica para realizar este tipo de actuaciones, todo ello con su debida autorización administrativa, para conseguir un mayor conocimiento de estos yacimientos y luego documentarlos debidamente y difundirlos.

No voy aquí a relatar cuál es la metodología a emplear, simplemente respecto a la extracción de materiales cabe señalar que ésto sólo se producirá si

se está en condiciones de darles un tratamiento de conservación eficaz en los laboratorios o centros correspondientes.

En caso de no disponer de esta infraestructura es mejor no proceder a su extracción fuera del mar, pues podría haber consecuencias inevitables e irreversibles. Mucho se ha escrito sobre si es conveniente o no extraer materiales de los yacimientos arqueológicos y especialmente de los acuáticos; considero que si la conservación se asegura, una extracción supondría una mayor protección y sobre todo, una mayor difusión de cara a los ciudadanos que lo podrían disfrutar mejor, siempre y cuando esos materiales queden depositados en zonas próximas al yacimiento y siempre dentro del propio país.

g) Una vez excavado o prospeccionado el yacimiento es necesario abrir una línea de actuación dirigida a proteger físicamente ese yacimiento. Si bien la salvaguarda de los yacimientos arqueológicos terrestres en principio parece fácil (vallado o alambrado, que rodee el yacimiento) en los yacimientos arqueológicos estos métodos tradicionales se complican por el entorno en el que se encuentran. Hay que buscar alternativas, y existen. Tres son las principales: las cajas fuertes gigantes, pensadas para yacimientos no muy grandes y que consiste en colocar sobre el yacimiento una caja fuerte, dividida en cuadrículas que se van abriendo según sea la zona del yacimiento en la que se quiera trabajar, pero que al finalizar los trabajos el yacimiento quede totalmente cerrado. Esta técnica se ha experimentado con total acierto por el CNIAS en el yacimiento del barco fenicio de Mazarrón (Murcia). La protección con caja fuerte se complica en yacimientos muy extensos o desperdigados.

Otro elemento con las boyas-vigías, dotadas de radares que detectan la actividad ilícita (el expolio) en un yacimiento. De reciente presentación, deberíamos esperar un tiempo para ver su eficacia. Ésta, no obstante, dependerá de la rapidez con que acudan posteriormente las Fuerzas de Seguridad, una vez activada la alarma.

Por último, la presencia policial también es importante en aquellos yacimientos que lo permitan, por estar cerca de la costa: muy cerca permitiendo la presencia policial desde la orilla o algo más alejada, obligando al Servicio del Mar de la Guardia Civil a patrullar con embarcaciones por los sitios donde se ubican dichos yacimientos.

h) Toda esta actividad debería ir acompañada por una política eficaz de formación al personal que trabaja en este ámbito. Esta formación no sólo iría dirigida a los arqueólogos subacuáticos sino a todos los profesionales que se dan cita en este tipo de actividades. Una buena formación supone una mayor garantía para hacer las cosas bien. Y en este tipo de actuaciones donde actúan personas de muy distinta formación, cada una en su parcela, es bueno que haya cursos de formación integral en los que todos ellos aprendan todo el proceso de las excavaciones arqueológicas y qué es lo que hacen sus compañeros dentro de dicho proceso.

i) Por último, relacionados con la arqueología subacuática se debe de hablar de uno de los casos que han aparecido en prensa en los últimos meses, el Proyecto Poseidón.

El Proyecto Poseidón es una iniciativa privada dirigida a proteger el Patrimonio Arqueológico Subacuático de la costa de Cádiz y Huelva, por medio de un ambicioso proyecto que se basa en la construcción de una ciudad de la arqueología subacuática en Chipiona, dotada de todo tipo de centros especializados (museos, laboratorios, bibliotecas, etc.) y comerciales (bares, tiendas, restaurantes, salas de ocio...) No es mi intención poner en duda la bondad de este proyecto, que por otra parte me merece todo mi respeto como iniciativa privada en este ámbito, pero deben aclararse una serie de asuntos o puntos que no son negociables y que los responsables del proyecto deben tener en cuenta en todo caso.

Primero considero que todo tipo de proyecto de protección de los yacimientos arqueológicos subacuáticos debe tener el apoyo de la Administración Pública correspondiente, en este caso la Junta de Andalucía: ésta debe autorizar todos los proyectos que lleve a cabo Poseidón; debe supervisarlos, hacer seguimiento e inspección, asimismo será quien determine el destino final de las piezas que se recuperen así como el tratamiento de conservación que hay que darle. En segundo lugar, toda actividad del Proyecto Poseidón, deberá respetar escrupulosamente la normativa en vigor sobre protección del Patrimonio Histórico: las leyes y reglamentos andaluces, estatales y las normas de otras Comunidades Autónomas si actúa en sus aguas. Asimismo deberá respetar el marco internacional establecido en el Convenio de la UNESCO cuando esté en vigor para España (en estos momentos está en tramitación su adhesión).

Por otro lado, el Proyecto Poseidón es muy ambicioso y necesita de fuentes de financiación. En principio ésta debe ser privada, no pública y si se consigue, sería una muy buena noticia para la arqueología marítima, que varias sociedades mercantiles financiasen su protección por mero mecenazgo y con escaso margen de beneficio (explotación de los locales comerciales de la Ciudad de la Arqueología; merchandising, venta de publicaciones, reproducciones...) debido al carácter demanial de los bienes extraídos.

Pensar que esta iniciativa privada, pone los ojos en la Administración Pública par buscar esa financiación, creo que eso es un error, pues las dotaciones presupuestarias son las que son y si hubiera crédito sobrante, cosa difícil en los presupuestos públicos, éstos irían a dotar mejor a los Centros Públicos de Investigación de la Arqueología Subacuática (Cartagena, Cádiz, Girona) que siempre andan con limitaciones presupuestarias para poder hacer en condiciones todo lo que tienen que hacer, tanto en nuestro litoral como en aguas internacionales o de terceros países respecto a pecios españoles.

5.2. Protección de los pecios españoles en aguas internacionales o terceros países

a) Desde 1996 en este apartado no se había realizado nada. Por entonces ya se había expoliado el *San Diego* y el *Virgen de Atocha* entre otros pecios hundidos en aguas de terceros países. No sólo no se había hecho nada sino que a punto se estuvo de comprar objetos del *Virgen de Atocha* y finalmente una empresa española adquirió bienes del *San Diego* y los dio en pago de

impuestos a una Comunidad Autónoma, todo sin solicitar informe ni pedir opinión al Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

En el año 1997 se conoce el descubrimiento de los pecios del *Juno* y *La Galga* en las Costas de Virginia y entonces desde el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte se inicia en colaboración con la Embajada española en Washington un pleito reclamando los derechos del Estado español sobre estos pecios. Tras un largo y costoso pleito, en el que estábamos representados por un prestigioso bufete de abogados norteamericanos, la sentencia del Tribunal Supremo de los Estados Unidos, fue favorable para los intereses españoles pues nos reconocía todos nuestros derechos; un decreto de Bill Clinton reconoció estos derechos en norma jurídica, decreto que fue asumido por su sustituto George Bush.

Esto nos da una idea de cuál puede ser una de las líneas fundamentales de la defensa de nuestros intereses en aguas no jurisdiccionales; en aquellos países cuyo ordenamiento jurídico defiende el principio de propiedad de los estados bajo cuyo pabellón navegan aquellos barcos hoy hundidos, hay que defender ante los tribunales nuestros derechos, hasta la última instancia. USA, Canadá, Gran Bretaña, Australia son países en los que la defensa jurídica en tribunales puede darnos ciertos éxitos. Ahora, en estos momentos y por la sentencia del Tribunal Supremo de los Estados Unidos, el Gobierno español está a punto de presentar nueva batalla ante los tribunales norteamericanos por los derechos sobre el pecio del *Deliverance*, buque francés que navegaba por orden del Rey de España.

Bien pero después de ganar la sentencia ¿qué pasa? ¿cómo se debe actuar?. En principio considero que tras el reconocimiento de nuestros derechos por los tribunales norteamericanos, el Estado Español no se debe quedar parado; considero que se deben firmar convenios con las autoridades o empresas o instituciones culturales norteamericanas para excavar arqueológicamente estos yacimientos, tratar los materiales que se extraigan y exponerlos en museos adecuados. Hablo de excavaciones arqueológicas, no por supuesto comerciales. Estas actuaciones deben respetar la normativa española o al menos su espíritu, así como el marco jurídico que establece el Convenio de la UNESCO. Pero quizás sólo se deba actuar o priorizar la actuación en aquellos yacimientos que sean susceptibles de ser expoliados, ya sea por la acción del mar, ya sea y sobre todo por su localización y fácil acceso a los expoliadores (cazatesoros; pescadores con artes de pesca; buceadores profesionales o aficionados; zonas turísticas de playa...). Aquellos yacimientos ubicados en zonas menos accesibles podrían esperar su excavación para más adelante, cuando dispongamos de un Centro Nacional de Investigación de Arqueología Subacuática en pleno funcionamiento.

b) ¿Pero qué pasa en aquellos países en donde su ordenamiento jurídico no permita defender nuestros derechos como propietarios del pecio o argumentan que, si bien el buque era español lo que portaba era originario de otros países? En este caso considero que la mejor opción, por el momento y sin renunciar a ningún derecho, es la cooperación. Esta línea es precisamente la que marca el convenio de la UNESCO sobre Protección del Patrimonio Cultural Subacuá-

tico, cuyo contenido no voy a analizar pues no es el objeto de este artículo, pero al que haré referencia concreta. En estos casos lo mejor es firmar convenios de colaboración bilateral o a tres bandas, que establezcan un marco general de cooperación (asistencia técnica, financiera, información, documentación; difusión de lo excavado...) y dentro de esos convenios marcos generales, deberá haber acuerdos específicos respecto al estudio arqueológico de un yacimiento concreto, detallando qué parte hace cada cosa, y con un proyecto científico concreto con todo lo que precisa: calendario, metodología, recursos materiales, recursos humanos, autorizaciones administrativas, etc.

Respecto a los materiales soy de la opinión de que en principio deben quedar en el país ribereño, salvo que sea en aguas internacionales en las que sería lógico que volvieran al país de origen; en caso de estar en aguas de un tercer país como ya digo, no es descartable que se queden en dicho país, en un museo público en donde se explique el por qué de la presencia española en ese país; o se acuerde la posibilidad de organizar una exposición temporal en España con los objetos del pecio, o negociar un depósito temporal de plazo medio (5-10 años) para que España pueda disfrutar de esos restos.

Como ya digo, el convenio de la UNESCO insta a todos los países del mundo a actuar en este sentido, en cooperación y siempre respetando unos principios básicos entre los que se encuentra el carácter intransferible de los objetos encontrados.

c) Pero el papel de España de cara al exterior no acaba aquí. Es esencial que se inicie una actuación de formación de profesionales extranjeros (sobre todo iberoamericanos) para convertirlos en auténticos expertos en arqueología subacuática de la mano del CNIAS; considero que el futuro del CNIAS pasa por convertirse en un punto de referencia de la arqueología subacuática no sólo a nivel nacional, sino sobre todo a nivel internacional. Cursos de formación, becas, estancias de profesionales, asistencia técnica no sólo en actuaciones concretas sino que también aconsejen en metodología, dotación de laboratorio...

Esto pondría a España en el puesto que merece a nivel mundial en arqueología marítima, en primera fila pues no menos cierto es que, aquí sí, España es probablemente la primera potencia del mundo, si no en número de pecios, si en cuanto al valor de los mismos; valor considerado en términos del comercio ilegal claro, pues como ya hemos dicho para nosotros los objetos y tesoros son intransferibles.

Pero para que esto sea verdad, el CNIAS necesita una sede, que ya está en marcha y que luego se le dote de personal adecuado, de fondos presupuestarios para hacer sus tareas y de recursos materiales necesarios para desarrollar su labor, insistiendo aquí en la construcción de ese barco de arqueología subacuática que sea el santo y seña del Estado Español tanto en nuestras aguas como en aguas de terceros países. ¿No estaría bien que este barco realizase campañas en el litoral español en la primavera y el verano y trabajase en iberoamérica en otoño y en invierno?

d) En esta línea, la ayuda del Ministerio de Asuntos Exteriores es esencial; es necesario que todas las Embajadas españolas en países costeros en

cuyas aguas puede haber pecios españoles (América, Filipinas, Guinea...) deben estar atentas a las noticias o informaciones que aparezcan sobre pecios españoles para que lo comuniquen cuanto antes y tomen medidas disuasorias encaminadas a proteger nuestros intereses y derechos.

Asimismo el Ministerio de Defensa podría ceder alguno de sus buques para hacer actuaciones concretas, actuación que se podría incluir en uno de esos convenios de colaboración que antes hemos mencionado.

e) Por otra parte, también es muy importante que España firme el Convenio sobre Protección del Patrimonio Cultural Subacuático de la UNESCO aprobado por la Asamblea General en octubre del 2001, que establece el marco general de actuación fijada en una serie de principios básicos que deben ser respetados por todos; inercialidad de los bienes hallados; protección jurídica; obligación de conservar; tratamiento científico de los yacimientos; colaboración y cooperación entre países; y además no prejuzgar los posibles derechos de propiedad ni los derechos de los estados ribereños sobre sus aguas jurisdiccionales.

Por todo ello, considero necesario la firma cuanto antes de este convenio; ¿se podría haber obtenido un contenido mejor para nuestros intereses? Pues dada la multitud de derechos e intereses en juego, la multitud de posturas de los diferentes países; la variedad de temas que trata; los derechos en juego; la complejidad del derecho internacional del mar... creo que su contenido, al fin y al cabo, no es malo, pues fija unos principios básicos y va a permitir la conservación de este patrimonio y la colaboración entre los países.

Este año habrá una reunión en Siracusa (Sicilia, Italia) en el mes de abril para sondear a los países europeos y del Mediterráneo si van a firmar o no el Convenio. España lo está tramitando y en estos momentos desde la Secretaría de Estado de Cultura estamos redactando las memorias justificativa y económica que acompañarán a la ratificación.

f) Por otro lado y para finalizar, quisiera plantear una idea que me persigue desde hace tiempo y que es difícil de solucionar ¿qué hacemos con el Archivo de Indias? ¿Sigue abierto al público para que saque información necesaria para los expoliadores y cazatesoros o se restringen y no se permite el acceso a nadie? Esta es la incongruencia de la norma y del sistema, la difusión y el acceso de los ciudadanos al patrimonio histórico (documentos de un archivo histórico), como derecho fundamental de los ciudadanos (art. 44 de la Constitución) puede servir, y de hecho sabemos que sirve para obtener información para cometer actos delictivos (destrucción de un yacimiento arqueológico) y expoliar nuestro propio patrimonio (tesoros hundidos) dándoles una finalidad comercial (por tanto ilegal) y alejando estos tesoros de sus destinos naturales que serían los museos públicos, en donde todos los ciudadanos podrían disfrutar de ellos.

6. Conclusiones. Un decálogo de propuestas

Después de hacer un repaso de todas las actuaciones que se puedan llevar acabo en materia de protección del patrimonio arqueológico subacuático,

quisiera reflejar aquí a modo de conclusión y en forma de decálogo, las principales ideas que deben guiar esta política, teniendo en cuenta, previamente por un lado el potencial de España en este terreno; podríamos hablar de ser la primera potencia del mundo en yacimientos arqueológicos subacuáticos si no en número, sí por su riqueza; y por otro, nuestra vinculación histórica con numerosos países, especialmente con Iberoamérica, lo cual nos da un papel relevante y como guía y punto de referencia en la protección y conservación de este patrimonio.

Sin perder de vista estas dos ideas, las líneas de acción deben de ir por:

1. Animar a las Comunidades Autónomas y al Estado en su ámbito competencial a que declaren como Bienes de Interés Cultural, Zonas Arqueológicas, aquellos yacimientos arqueológicos subacuáticos más relevantes. Asimismo fomentar la colaboración entre la Administración Pública competente para finalizar los mapas arqueológicos de todo el litoral español.

2. Que la Comisión Delegada del Gobierno apruebe un Plan Nacional para la Protección del Patrimonio Arqueológico Subacuático, que incluya las líneas de actuación antes indicadas, así como cualesquiera otras que ayuden a una mayor protección o conservación.

3. Que una vez finalizada la construcción de la sede del Museo Nacional de Arqueología Marítima – CNIAS, se dote suficientemente a este organismo en sus dos vertientes, museística y como centro de investigación, con profesionales bien capacitados y en número suficiente.

4. Que el CNIAS cuente con la inversión necesaria para que pueda disponer de la tecnología mas avanzada para las prospecciones y excavaciones subacuáticas y crédito presupuestario suficientes para realizar actividades y operaciones concretas.

5. Punto aparte merece la necesidad de construir un barco de arqueología subacuática con base en Cartagena, dispuesto a operar tanto en nuestro litoral como en aguas de terceros países para la protección de nuestros pecios.

6. Se proceda cuanto antes a la firma del Convenio de colaboración entre los Ministerios de Asuntos Exteriores, Ministerio de Defensa y Ministerio de Educación, Cultura y Deporte para la protección del Patrimonio Arqueológico Subacuático.

7. Que el CNIAS se convierta en un auténtico centro de formación, tanto a nivel nacional como internacional, para todos los profesionales de este ámbito.

8. Que España ratifique cuanto antes su adhesión al Convenio de la UNESCO sobre Protección del Patrimonio Cultural Subacuático. Que España siga teniendo su presencia física, activa y de opinión en los foros internacionales que versen sobre este asunto. Debe colocarse a la cabeza mundial en protección y conservación.

9. Que España inicie una política de cooperación con terceros países, especialmente la iberoamericana, para cooperar en la protección, conservación y defensa de los pecios españoles hundidos en sus aguas jurisdiccionales.

10. Que se realice una política eficaz de difusión y sensibilización (exposiciones temporales, cursos, campañas, escuelas-taller) de cara al gran público con el objeto de dar a conocer este peculiar patrimonio y la necesidad de su conservación.

**LA CONSERVACIÓN DEL MATERIAL ARQUEOLÓGICO
SUBACUÁTICO. EL ARQUEÓLOGO Y EL RESTAURADOR
ANTE LAS PRIMERAS INTERVENCIONES**

Carmen PÉREZ DE ANDRÉS
Museo Nacional de Antropología. Avda. Juan de Herrera 2, 28040 Madrid
carmen.perez@mna.mcu.es

Cuando se dice “arqueología subacuática” debería asociarse de forma inmediata en nuestra mente a una actividad, científica y técnica, en la cual, la actuación es siempre un trabajo de conservación preventiva.

El brusco cambio de medio que una excavación arqueológica, y más una excavación arqueológica subacuática supone, acarrea problemas derivados del propio método de investigación, cuyo transcurso obliga al sometimiento de los objetos por capas estratificadas sucesivas; a un cambio desde un ambiente estable, más o menos favorable pero con el que estaban en equilibrio, a un ambiente nuevo más agresivo física, química y biológicamente (más calor, más luz, cambio de humedad relativa, nuevos agentes biológicos... Son hechos que deben preverse y organizar la metodología y materiales con los que se podrán conseguir las condiciones más favorables para la conservación de los objetos, evitando absolutamente los riesgos de degradación, que conllevarían alteraciones no deseadas y la desaparición de datos referentes al objeto y su historia o incluso la desaparición del propio objeto.

Es un trabajo de anticipación. Hay que hacer previsiones acerca de la naturaleza, la cantidad y el estado de conservación de lo que va a ser excavado y extraído, y considerar si, además, algo se va a conservar *in situ*.

Entre las cosas que deben estar previstas, claras y asumidas desde el principio, además de los locales, infraestructura, material y equipamiento, se encuentra la composición del equipo de trabajo y las responsabilidades que cada cual deberá asumir. Por supuesto, el arqueólogo que dirige la excavación será el máximo responsable, pero junto a él la figura de un restaurador capaz de responsabilizarse del material, de organizar su movimiento, su registro, su almacenamiento, etc, en colaboración con arqueólogos y técnicos, capaz de implantar procedimientos y hábitos de trabajo comunes a todo el equipo, orientados a una mejor conservación de los materiales, sería fundamental; en el caso de la arqueología subacuática es imprescindible y espero que llegará el día en que sea inevitable.

El Consejo Internacional de Museos (ICOM) creó un grupo de trabajo de Conservación Preventiva en 1996 y, aunque se trata de la definición de un concepto generalmente asociado a los museos, hay unos criterios básicos, surgidos a través de reuniones y congresos internacionales (ICOM, UNESCO...), que plantean normas generales aplicables a cualquier caso o circunstancia relacionados con el patrimonio histórico y su conservación –en senti-

do amplio-, también al material arqueológico subacuático y, sobre todo, a los primeros momentos de la excavación:

1- Evitar cualquier proyecto que requiera materialmente unas exigencias técnicas superiores a las posibilidades de ejecución y mantenimiento que se puedan garantizar .

2- Conseguir el mínimo grado posible de manipulación o intervención .

3- Conocer el comportamiento físico y químico de los materiales a conservar así como esos mismos materiales y su estado de conservación, y también sus causas potenciales de deterioro .

4- Crear un medio ambiente acorde con las exigencias de perdurabilidad del objeto.

5- Evitar la existencia de las causas de alteración.

6- Restricción del usufructo si su uso o emplazamiento entrañan peligro para su integridad.

7- Tener presente que hay que preservar los valores materiales y culturales (documento), evitando situaciones que dificulten su correcta interpretación o lo desvirtúen.

1. Evitar cualquier proyecto que requiera materialmente unas exigencias técnicas superiores a las posibilidades de ejecución y mantenimiento que se puedan garantizar

Debido a su particular importancia y a sus exigencias de conservación, en el caso de una excavación subacuática, mucho más que en el caso de una excavación en tierra, es necesario contar con restauradores, a ser posible buceadores, que conozcan los problemas que lleva aparejados una excavación de este tipo y puedan garantizar la extracción, almacenamiento y transporte correctos hasta que lleguen al laboratorio que se encargará del tratamiento y conservación.

Lo primero que hay que tener en cuenta es:

- Asegurarse de tener los medios adecuados para llevar a buen término la empresa (medios materiales y humanos).

- Establecer unos principios de interés y actuación comunes entre los arqueólogos, conservadores y restauradores.

- Contar con espacio y material para almacenamiento: estanterías, mesas, piscinas de desalación y conservación, recipientes de plástico de diversos tamaños, etiquetas de plástico que deberán permanecer vinculadas al objeto hasta el final del proceso de restauración y secado, productos químicos...

- Plantearse la necesidad de extraerlo todo o sólo una parte, dejando los objetos *in situ* convenientemente protegidos.

- La posibilidad de efectuar moldes bajo el agua, por ejemplo con siliconas, y reproducciones posteriores. Si no está garantizada la conservación de los materiales es mejor cualquier otra opción, todo antes que efectuar extracciones abocadas al fracaso, es decir, a la total degradación de los objetos.

2. Conseguir el mínimo grado posible de manipulación o intervención

Siempre hay que considerar tres parámetros a la hora de abordar una intervención:

- 1.- Enfoque de la intervención: curativo o preventivo
- 2.- Alcance de la intervención: directa o indirecta (actuaciones sobre los objetos o condiciones medioambientales, de conservación y almacenamiento)
- 3.- Escala de la intervención: un objeto, un conjunto de objetos, todo el material de una colección, de un museo, de una excavación, etc.

La valoración de estos tres parámetros dirigirá los criterios de intervención y marcará las necesidades materiales, técnicas y económicas del proyecto.

Lo primero, antes de tocar los materiales, es hacer una buena documentación *in situ*, única forma de volver atrás, o de hacer reversible nuestra intervención. Documentación que consistirá en fotografías, dibujos, toma de muestras del sedimento, etc. Y que se seguirá realizando hasta que el objeto se encuentre totalmente restaurado y estable en su lugar de depósito final.

Si se decide la extracción de los objetos hay que tener en cuenta que, así como los objetos de origen inorgánico como la cerámica, piedra o metales suelen soportar bien la manipulación necesaria para extraerlos, los materiales orgánicos suelen estar muy frágiles y existe el riesgo de provocarles rupturas y daños físicos, por eso será conveniente preparar cestas, redes, bandejas, cajas, etc. con una cama de arena para colocarlos encima y que servirán de soporte para dichos materiales, incluso cubrirlos con arena; hay que manipularlos lo menos posible. También pueden extraerse con la arena o limo que los cubre para una mayor protección; la preparación de camas blandas o/y rígidas (al igual que se hace en tierra para materiales frágiles) puede ser también un sistema a tener en cuenta.

También habrá que optar entre hacer simples actuaciones de extracción y almacenamiento, hasta el traslado a locales mejor equipados, o si es necesario intervenir mínimamente, haciendo limpiezas superficiales o consolidaciones, una mínima intervención para su conservación y legibilidad. En cualquier caso sin ello la investigación arqueológica no sería posible.

No hay que olvidar que nuestra actuación, irreversible en la realidad y según lo que se entiende por reversible en las reacciones químicas, debe ser inocua y debe ser posible quitarla; por tanto, evitaremos materiales o procesos de difícil eliminación o que contaminen los objetos, de tal forma que comprometan o imposibiliten la realización de futuros análisis o estudios.

3. Conocer el comportamiento físico y químico de los materiales a conservar así como esos mismos materiales y su estado de conservación, y también sus causas potenciales de deterioro

La conservación de los objetos está en función de su material constitutivo. Para saber de qué forma van a influir en ellos determinados agentes externos y poder evitar su degradación, es necesario conocer su materia y el estado en

que se encuentra. También es necesario tener un conocimiento histórico y artístico de los objetos, para poder evitar manipulaciones o acciones que les puedan hacer perder algunas de sus características que, si no se sabe que las poseen o no se les da la importancia debida, pueden ser fácilmente eliminadas.

En el caso de los objetos arqueológicos se trata de conocer, en primer lugar, el material que los constituye, la técnica de elaboración y los productos de degradación presentes, aparte de los pertinentes estudios históricos y tipológicos. Su clasificación, a efectos de su conservación, debe hacerse atendiendo a su material constitutivo, ya sea inorgánico u orgánico.

Los materiales inorgánicos, silíceos (piedra, cerámica y vidrio) y metálicos, tienen distintos problemas de alteración. Los materiales silíceos (piedra y cerámica) presentan problemas derivados de su porosidad (absorción de agua y con ella de sales, cristalización o eflorescencia de las mismas); otros por la erosión, ataque por agentes químicos y por agentes biológicos, rupturas, fisuras, etc., la cerámica en particular puede presentar problemas también por fallos en el proceso de fabricación (cocción) todo lo cual produce alteraciones de color, de superficie, estructurales..., cambios de composición mineralógica y química, fragilidad, etc. Dentro de esta generalización, las variedades de piedra y cerámica, incluso la cerámica vidriada o la porcelana presentan problemas específicos.

Otro material silíceo es el vidrio que, por sus características, plantea problemas especiales. Es un material amorfo procedente del fundido de diversos componentes: sílice, y como fundentes óxidos de plomo, sodio y potasio, además de colorantes especiales. En presencia de humedad relativa elevada o sumergido, y este es su principal problema además de su fragilidad, los óxidos se transforman en hidróxidos y se produce el fenómeno de la desvitrificación (aspecto tornasolado causado por la formación de escamas).

Los materiales metálicos tienen el problema de la corrosión (acelerada en presencia de humedad) fenómeno por el cual tienden a su forma más estable en la naturaleza que es la forma mineral, es decir, el mineral del que se extrajeron. Una primera identificación basada en el color, indicará al experto el metal de que se trata e incluso la identificación de algunos de los productos de alteración. En el hierro aparecen óxidos, hidróxidos... en distintas formas, incluso constituyendo lo que se conoce como pátina noble (magnetita, de color negro, inerte). En el cobre y sus compuestos se producen también distintos productos de alteración, algunos creando también pátinas nobles (aunque en ningún caso completamente inertes) y otros como los cloruros presentando una alteración típica color verde claro y muy peligrosa.. De todos los metales estos dos son los menos inertes, otros como plomo, estaño, etc. o los ya considerados nobles, presentan menos problemas.

El otro gran grupo de materiales lo constituyen los orgánicos. Estos se caracterizan por estar constituidos por largas moléculas en forma de fibras de polímeros. El tejido animal tiene fibras de proteínas y el vegetal lignina, celulosa, hemicelulosa... Todos ellos tienen en común el ser higroscópicos y anisotrópicos, es decir, tienen propiedades direccionales al estar constituídos

por fibras. Esto va a marcar sus alteraciones: rigidez, contracción, pérdida de forma y del grado de humedad, e incluso la desaparición de alguno de sus componentes según el medio en que se encuentren... Además de ser atacados por organismos vivos: xilófagos, hongos, etc.

Los objetos derivados de materiales de origen orgánico son muy variados y puede tratarse de velas, cabos y aparejos de barcos, la propia estructura del barco en sí, armas y elementos de uso de la tripulación (vestido, calzado, vajilla...), elementos de comercio o alimentación (cestería, tejidos...), elementos de construcción (palafitos, terrenos anegados), también pueden darnos datos sobre la religiosidad de los pueblos (fuentes de carácter religioso donde se depositan exvotos), embarcaciones de mar y fluviales.... Todos estos objetos, sobre todo si se trata de épocas antiguas, sólo nos es posible conocerlos por algún texto o pintura en el mejor de los casos, de ahí la importancia de su conservación como documentos únicos.

4. Crear un medio ambiente acorde con las exigencias de perdurabilidad del objeto

En primer lugar, y como regla de oro, habrá que mantener los objetos en las mismas condiciones en las que se encontraban antes de la excavación (evitar evaporaciones, aunque sea parciales, y secado). Deben establecerse grupos de objetos según su naturaleza y materiales constitutivos, también según el estado de conservación o el método de tratamiento. Las instalaciones y medios deberán estar adaptados y en consonancia con la duración de la fase de excavación y conservación previa al tratamiento completo de restauración. Todos los objetos deben ser revisados y estar sujetos a un mantenimiento constante (ligeras limpiezas, posibles proliferaciones de microorganismos, cambios de agua...)

El almacenamiento es una fase de espera antes del tratamiento, fase que puede ser empleada para hacer moldes, limpiar, etc. Durante esta fase habrá que tener cuidado con la posible proliferación de micro-organismos, sobre todo cuando la madera se almacena en seco con Humedad Relativa elevada y una temperatura favorable cuyo punto óptimo está entre los 20oC. y los 25oC. Para evitarlo en el almacenamiento en tanques se añaden biocidas, con el sistema de humectación por aspersores esto es más difícil porque el biocida se concentraría en zonas y si, además, el almacenamiento es visitable por el público, sería peligroso. Pueden aplicarse biocidas localmente o insertar pastillas que desprendan vapores.

5. Evitar la existencia de las causas de alteración

Básicamente se trata de subsanar, mediante el adecuado tratamiento de restauración, la debilidad estructural de los objetos y la inestabilidad química y física de los materiales, por supuesto, una vez conseguida la solidez y resistencia de los objetos, y su estabilidad química, hay que mantener esos resultados.

Una vez estabilizados los materiales es también importante mantenerlos en unas condiciones de conservación adecuadas, si no habrá sido inútil nuestro

trabajo. En general se recomienda una temperatura de 18°-20° C. y una humedad relativa del 50-60%. En cuanto a la luz y debido a que estos materiales son sensibles a la misma, debe adoptarse una iluminación máxima de 150 LUX y un nivel de ultravioletas que no supere los 80 microwatts por lumen.

Soluciones:

- Soluciones estructurales y constructivas: accesos y circulación de obras, aislamiento y estanqueidad de los cerramientos...
- Instalaciones y equipamiento: aparatos para seguimiento de las condiciones ambientales, vitrinas, sistemas de ventilación y climatización, iluminación, sistemas contra robo, incendio, intrusión, soportes para las piezas...
- Procedimientos para el seguimiento, control y mantenimiento
- Estrategias de visión integradora de las distintas actividades y profesionales: actitudes, procedimientos, rutinas...

6. Restricción del usufructo si su uso o emplazamiento (o cambio de emplazamiento) entrañan peligro para su integridad

Esto es aplicable a todos los objetos pero sobre todo a las grandes estructuras sumergidas. Uno de los aspectos mas interesantes y complejos dentro de la arqueología subacuática lo constituye el pecio, es decir los restos del barco y la carga. No son muchos los barcos que se han extraído completos de los fondos marinos, pero sí se ha hecho en algún caso.

El principal problema que plantea la conservación de grandes estructuras de madera, caso de los barcos, es la necesidad de contar con grandes medios económicos, técnicos y humanos para llevar a buen término la empresa. Actualmente la toma de conciencia por parte de profesionales, arqueólogos e instituciones ha hecho evolucionar los criterios y se evita la extracción de barcos pues, al no estar debidamente garantizada su conservación, es difícil justificar la extracción. Las extracciones han quedado reducidas a actuaciones de urgencia cuando los barcos aparecen en zonas húmedas o excavaciones urbanas donde no estaba prevista su presencia.

La mayor parte de los barcos conservados "en seco" se han extraído por la imposibilidad de dejarlos como fueron encontrados, al haberlos hallado en zonas urbanas y sujetas a planes o proyectos de construcción, tratándose, en realidad, de verdaderas urgencias. Otras embarcaciones, de menor tamaño, se han recuperado de aguas interiores. Los grandes proyectos de recuperación naval efectuados sobre barcos sumergidos son muchos menos y han exigido unas actuaciones realmente espectaculares.

7. Tener presente que hay que preservar los valores materiales y culturales (documento), evitando situaciones que dificulten su correcta interpretación o lo desvirtúen

La presencia de un conservador-restaurador facilitará esta tarea pues conoce bien los materiales, a menudo enmascarados por concreciones calcáreas, vegetales, etc. y podrá elegir el almacenamiento más correcto y la

forma de preservar la información que contiene cada objeto: forma y tipología, materia, huellas de fabricación o uso, restos de sustancias que han contenido...

Si la excavación de que se trata es un pecio que conserva el casco del barco y toda su carga el problema puede resultar insoluble. La gran cantidad y diversidad de materiales que un barco hundido puede aportar: el propio casco, con maderas de especies diferentes según la zona de que se trate, el cordaje, la carga, objetos de uso cotidiano, restos de calzado y vestido, provisiones, etc., hace realmente complicado el problema de su conservación.

Hay varios puntos que deben tenerse en cuenta a la hora de elegir un tratamiento de conservación para grandes formatos:

- Accesibilidad del personal al objeto durante el tratamiento.
- Posibilidad de acceso del público al objeto durante el tiempo que dure su tratamiento.
- Utilización previa del tratamiento a gran escala y con éxito.
- Medidas de seguridad necesarias.
- Personal especializado.
- Necesidades de tiempo, económicas, etc. ... para llevar a término el tratamiento.

Existen varios tipos de tratamientos posibles y que ya se han utilizado, con mayor o menor fortuna, en la conservación de la arquitectura naval. En esquema son los siguientes:

1. Deshidratación con un disolvente no acuoso y consolidación por impregnación con una cera o resina.
2. Polimerización "in situ" de monómeros prepolímeros.
3. Tratamientos de impregnación con ceras de polietilenglicol, por inmersión o aspersión.
4. Liofilización

8. Publicaciones de la autora en las que se recogen aspectos teóricos y prácticos acerca de la conservación y restauración de materiales arqueológicos de procedencia subacuática, a partir de la experiencia

Durante los años que trabajé como restauradora y conservadora en el Museo y Centro de Investigaciones Arqueológicas Submarinas de Cartagena, que era y sigue siendo un centro de apoyo y asesoramiento técnico y científico, un centro de documentación (biblioteca especializada, cartoteca, archivos fotográficos, bases de datos informatizadas sobre yacimientos de las costas españolas), un centro de coordinación de los Planes Nacionales de Documentación del Patrimonio Arqueológico Subacuático, así como en un auténtico centro de investigación sobre Patrimonio Histórico, que potenciaba además la formación de personal especializado, la colaboración con las Comunidades Autónomas y la difusión, como parte de sus objetivos se desarrollaron excavaciones en las que toda la teoría anterior se puso en práctica

(La Barra y sobre todo Escombreras). Y la teoría aplicada a los casos reales funcionó, con equipos pluridisciplinares que integraban historiadores, arqueólogos, restauradores, químicos, fotógrafos, dibujantes..., pues las soluciones a aplicar dependen de los conocimientos aportados por todos ellos.

También se desarrolló un proyecto de investigación en colaboración con varios laboratorios europeos especializados en tratamientos de madera empapada de agua.

Todo ese trabajo ya está recogido en diversas publicaciones que se detallan a continuación.

Bibliografía

- ANTONA DEL VAL, V., BLÁNQUEZ PÉREZ, J., ROLDÁN GÓMEZ, L., GÓMEZ VEGA, B., PINEDO REYES, J. y PÉREZ DE ANDRÉS, C. (1988): *La Arqueología Subacuática en España*, Ministerio de Cultura, Murcia.
- HOFFMANN, P., PÉREZ DE ANDRÉS, C., SIERRA MENDEZ, J. L., RAMIERE, R., KHÔIT., QUÔC, W. y URS M. (1994): "European Inter-Laboratory study on the conservation of waterlogged wood with sucrose", *Proceedings of the 5th ICOM Group on wet organic Archeological Materials Conference*, I.C.O.M., Bremerhaven. 309-335.
- PÉREZ DE ANDRÉS, C. (1988): *Conservación de materiales arqueológicos subacuáticos*. Ministerio de Cultura, Murcia.
- PÉREZ DE ANDRÉS, C. (1989): "Arqueología subacuática y conservación", *Revista de Arqueología*. 93, Madrid, 50-59.
- PÉREZ DE ANDRÉS, C. (1991): "El proyecto de conservación de maderas del Museo Nacional de Arqueología Marítima de Cartagena", *Actas del VIIº Congreso de Conservación de Bienes Culturales*, Vitoria, 178-186.
- PÉREZ DE ANDRÉS, C. (1992): "Conservación de materiales arqueológicos de procedencia subacuática", *Conservación del Patrimonio Arqueológico Submarino. Ias Jornadas de Arqueología Subacuática en Asturias*, Oviedo. 91-99.
- PÉREZ DE ANDRÉS, C. (1992): "La conservación de madera procedente de medios subacuáticos y el proyecto de conservación de madera del Museo Nacional de Arqueología Marítima de Cartagena", *IIªs Jornadas de Arqueología Subacuática en Asturias*, Oviedo, 11-28.
- PÉREZ DE ANDRÉS, C. (1992): "La investigación en conservación. *Reseau Européen de Laboratoire: Sucrose*", *Política Científica* 34, Madrid, 22-26.
- PÉREZ DE ANDRÉS, C. (1992): "Tratamientos de conservación para madera empapada de agua", *Cuadernos de Arqueología Marítima 1*, Cartagena, 47-56.
- PÉREZ DE ANDRÉS, C. (1993): "El proyecto de conservación de madera arqueológica saturada de agua del Museo Nacional de Arqueología Marí-

tima de Cartagena”, *IIº Curso de Arqueología Subacuática* (S.Martínez Lillo y J.Blánquez Pérez eds.), Madrid, 145-161.

PÉREZ DE ANDRÉS, C. (1993): “Conservación de materiales orgánicos y arquitectura naval”, *Cuadernos de Arqueología Marítima 2*, Cartagena, 109-130.

PÉREZ DE ANDRÉS, C. y BAZTÁN, C. (1996): “El plan Director del Museo: Teoría y Práctica. 1996”, *III y IV Jornadas de Arqueología Subacuática en Asturias*, Oviedo, 131-163.

**EL ENTORNO MARINO DE LOS RESTOS
ARQUEOLÓGICOS**

Gerardo GARCÍA-CASTRILLO RIESGO
Paloma LANUZA ALONSO
Pablo LÓPEZ GARCÍA

1. Introducción

El entorno marino conglomerada un amplio espacio donde un extenso conjunto de factores físicos, químicos y biológicos, todos íntimamente relacionados, mantienen procesos dinámicos y evolutivos. Sin olvidar los geológicos de erosión y transporte, así como los aportes de aguas continentales, erupciones volcánicas submarinas y la actividad tectónica, entre otros.

Este entorno tan complejo alberga restos de distintas actividades del hombre que se ven inmersos a su vez en todos los procesos físicos, biológicos y químicos, los cuales les afectan y alteran de modo diverso y a su vez, según las condiciones ambientales. En el caso de restos arqueológicos de diferentes materiales, se asiste a procesos físicos de abrasión, transporte, deposición, flotación, floculación, entre otros; dentro de los químicos se asiste a la disolución y a distintas reacciones entre los elementos, destacando las de oxidación y reducción, que son las más patentes. Finalmente los organismos vivos dejan también sus afecciones, que van desde las reacciones bioquímicas de la biopelícula de contacto, hasta el asentamiento y crecimiento de organismos macrobentónicos sobre las estructuras, sin olvidarnos de las alteraciones derivadas de los comportamientos etológicos.

Los pecios y otros restos arqueológicos submarinos, por su propia naturaleza, están asociados al ambiente de los fondos, al medio bentónico, donde, junto a las características del agua, hay que añadir las peculiaridades asociadas a los distintos tipos de fondos, ya sean sedimentarios o de roca, y a las biocenosis asociadas a cada uno de ellos, en las que el recurso espacial tiene gran importancia en fondos rocosos, mientras que en los sedimentarios la tasa de renovación de agua, con todo lo que lleva asociado, es un factor de considerable importancia.

El medio acuático tiene como recurso principal el agua. Es el compuesto más abundante de la naturaleza, formado elementalmente por dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno. Sus propiedades y características definen, tanto los procesos abióticos como las condiciones de vida de este medio.

2. Propiedades físicas del agua de mar

Alguna de ellas son ciertamente curiosas. Si comparamos con compuestos homólogos (H_2S , H_2Se), debería presentarse en estado gaseoso en con-

diciones normales. Estas “anomalías” se deben principalmente a la propia estructura de la molécula de agua y a la formación de polímeros, tanto en estado sólido, como líquido. En estado líquido, el valor medio del polímero se acerca a dos moléculas y en estado de vapor, se aproxima a la unidad.

El agua posee un elevado calor específico, que decrece con la salinidad. Así la pérdida y la absorción de calor se realiza con variaciones mínimas de la temperatura. Por lo tanto, el mar se comporta térmicamente como un inmenso condensador en estrecha relación con la atmósfera e internamente relacionado con las masas de agua adyacentes.

La temperatura de los mares oscila, en términos generales, entre los 0° y 30°, aunque se dan valores más extremos. La distribución de la temperatura del agua muestra gradientes geográficos, pero también a microescala. Las variaciones en latitud y profundidad son las típicas y mejor descritas, pero existen otras, en unos caso de menor rango, pero biológica y termodinámicamente significativas que tienen su propia entidad.

La temperatura afecta en gran medida a todos los procesos físicos, químicos y biológicos, como viscosidad del agua, solubilidad del oxígeno, velocidad de las reacciones bioquímicas, entre otros. A bajas temperaturas, la conservación de la materia orgánica se conlleva mejor, existe un crecimiento más lento de los organismos y las aguas contienen más oxígeno.

La densidad del agua del mar lo es en función de la salinidad, la temperatura y la presión. Los gradientes de temperatura y densidad tienen gran importancia en la dinámica de las masas de agua.

La radiación solar que llega a atravesar la superficie del agua, además de ser absorbida en forma de calor, afectando a la temperatura y a los parámetros derivados, es dispersada por las moléculas del agua, las sustancias disueltas, la materia orgánica en suspensión y los propios organismos. A su vez, la absorción no se produce del mismo modo según la longitud de onda del espectro solar. Las longitudes del rojo, 420 nm, y el naranja, 460 nm, son las primeras en extinguirse, en el otro extremo del espectro, donde se encuentran los ultravioletas, 730 nm, ocurre otro tanto. En aguas claras es la banda de los azules, 620 nm, las que alcanzan mayor profundidad, mientras que en los ambientes turbios son las amarillas y verdes.

La penetrabilidad de las radiaciones en la columna de agua, íntimamente relacionada con la transparencia se mide tradicionalmente con el disco de Secchi.

Valores de la intensidad de irradianza

Los efectos ecológicos de la luz están relacionados con la capacidad de realizar la fotosíntesis, es decir, el crecimiento de algas está sujeto a una estrecha capa superficial de las mareas. Frente a este crecimiento fital, se desencadenan toda una serie de procesos ecológicos. La intensidad y la calidad de la luz afecta también a procesos de fotocinesis, visión y fotoperiodicidad.

La elevada constante dieléctrica del agua hace de ella un excelente disolvente de gran número de sustancias, permitiendo la disociación de sales en sus iones correspondientes. Esta disolución aumenta la conductividad, fren-

te al agua químicamente pura que prácticamente no conduce la electricidad ($0,038 \times 10^{-6} \text{ ohm}^{-1}$). Así depende de la concentración de sales disueltas (cationes y aniones) y de la temperatura, es decir, la resistencia eléctrica es función de la concentración de sales (salinidad) y la temperatura, de este modo su valoración permite conocer con exactitud la salinidad del agua.

3. La composición química

El agua de mar es una disolución de un extenso conjunto de compuestos químicos, en sus correspondientes iones, sumamente compleja, pudiendo admitirse en principio que la mayoría de los elementos químicos se encuentran representados en ella, desde amplias concentraciones a simples trazas. Es el resultado de la disolución de un amplio conjunto de sales inorgánicas que se encuentran disociadas en sus correspondientes iones. Los cationes principales son sodio, magnesio, calcio, potasio y estroncio y los principales aniones son cloruro, sulfato, bromuro y bicarbonato; constituyen prácticamente el 99,9 por ciento de los materiales disueltos. Probablemente, todos los elementos naturales están presentes en el mar, algunos en concentraciones infinitesimales y muchos de ellos, se conocen únicamente por aparecer en los organismos. Su composición está determinada por un equilibrio entre las tasas de adición y pérdidas de solutos, la evaporación, el aporte de agua dulce y la propia actividad biológica de los organismos que la pueblan. En sentido ecológico se distinguen dos conjuntos: sustancias conservativas y no conservativas. Las primeras son responsables de la salinidad y las segundas varían sus concentraciones ya que constituyen un recurso para los organismos (nitratos, fosfatos, oxígeno...)

La salinidad es la cantidad de sólidos disueltos en un kilogramo de agua de mar, su valor medio es de 35 g/kg, o sea, 35 partes por mil. Esta cantidad determina una presión osmótica sobre las membranas celulares de los organismos y entre otros factores, determinan la capacidad de oxidación reducción. Sus cambios afectan a la densidad, lo que influye indirectamente en los organismos pelágicos por sus efectos sobre la flotación y en la dinámica de las masas de agua.

Pese a esta gran complejidad, se da una constante proporcionalidad entre los elementos disueltos, aún ante la amplia variabilidad de la salinidad en todos los mares. Por lo tanto, la estimación de la concentración de cualquiera de estos iones permite calcular la salinidad total. Así, mediante el análisis volumétrico usando nitrato de plata y dicromato potásico como indicador se puede conocer la concentración de halógenos. Éstos precipitan al reaccionar con la plata, sobre todo el ión cloruro y trazas de bromuro. Tan pronto como se han agotado, el primer exceso de plata produce una coloración rojiza. Así, la salinidad se puede determinar mediante la relación empírica con los halógenos, expresada en el algoritmo de Knudsen: $S \text{ ‰} = 0,030 + (1,805 \times \text{Cl } \text{‰})$. Así, la clorinidad (Cl) es la cantidad de halógenos en un kilogramo de agua de mar. En la actualidad se emplea como indicador también la fluoresceína.

La complejidad del método ha permitido desarrollar otros más rápidos relacionados con la conductividad eléctrica y térmica, densidad e índice de refracción. Siendo el primer método el más utilizado y preciso. Como el agua de mar que no es otra cosa que un electrolito con una conductividad bien definida por las variables termodinámicas que la caracterizan: densidad, temperatura, presión y salinidad. Así, haciendo innumerables muestras es posible establecer una relación empírica (por mínimos cuadrados) entre conductividad y salinidad (ISMAEL NÚÑEZ RIBONI)

Como ocurre con la temperatura, la distribución de la salinidad muestra variaciones entre océanos y la profundidad. Únicamente existen fuertes variaciones en ambientes estuarínicos, donde la salinidad es baja en la cabecera de la ría y alta en la zona costera. En estos ambientes existe a su vez una variación estacional acusada, junto a cambios semidiurnos debidos al movimiento de las mareas y en la misma columna de agua, sin una distribución vertical homogénea.

Entre las sustancias no conservativas se encuentran iones tan importantes como silicatos, fosfatos, carbonatos y nitratos. Forman parte de estructuras esqueléticas, moléculas orgánicas y como nutrientes. El silicio está presente principalmente como ión silicato, es un constituyente de los esqueletos de algunos radiolarios y espículas de un grupo de esponjas, así como de la pared celular de diatomeas. El fósforo se encuentra, casi por completo, en forma de ortofosfato, también existen trazas de fósforo orgánico. Mientras que nitratos y nitritos tienen una estrecha relación con la excreción y descomposición de la materia orgánica. Las concentraciones de compuestos nitrogenados y fosfatos varían con la actividad biológica ya que son recursos explotados. Mientras que nitratos y silicatos fluctúan ampliamente sobre todo en la superficie y durante los meses de crecimiento planctónico, en los primeros 100 metros; cerca del fondo aumentan sus concentraciones y los valores son más estables. Cerca de la costa se pueden encontrar valores elevados de nitratos y fosfatos debido a la resuspensión de los sedimentos del fondo y a las grandes cantidades de nitratos y fosfatos procedentes de las escorrentías terrestres.

Muy pocos organismos marinos sobreviven en una solución que contenga tan sólo los principales constituyentes responsables de la salinidad en proporción correcta. Metales como el hierro, cobre y manganeso no son tóxicos para los organismos, en ciertas concentraciones, sino necesarios para su vida. El hierro se presenta sobre todo en forma de hidróxido férrico y trazas de fosfato férrico, ferricitrato o hematina, es necesario para las plantas, en los animales es un componente de los citocromos sanguíneos hemoglobina en vertebrados y algunos anélidos y moluscos, hemoeritrina en ciertos moluscos y crustáceos, y en la ciorocruorina de anélidos. Otro tanto ocurre con el cobre, presente en la hemocianina, también pigmento sanguíneo, de algunos moluscos y crustáceos. Algunas algas precisan molibdeno y vanadio, presentes en los pigmentos sanguíneos de ascidias. En otros casos los acumulan, así las algas concentran yodo, molibdeno, níquel, arsénico, cromo, vanadio, titanio, cromo y estroncio, mientras que las ascidias parecen especializadas en el

vanadio. Algunos peces son capaces de concentrar plata, cromo níquel, estaño, o cinc.

La mayoría de los elementos que se presentan de forma gaseosa en condiciones normales se encuentran también en solución en el agua de mar. Los gases atmosféricos son ligeramente solubles en el agua de mar, dependiendo sus concentraciones de la presión parcial y el coeficiente de solubilidad de cada uno. El contenido en oxígeno en el medio marino varía entre 0 y 8,5 ppm (ml/l), su coeficiente de solubilidad está afectado por la temperatura; así, sus concentraciones en las aguas superficiales es, por lo general, mayor en latitudes polares que en las ecuatoriales. Las aguas superficiales polares frías, densas y ricas en oxígeno se hunden hacia las cuencas oceánicas. Por debajo de los 2000 metros la concentración varía poco, entre 3 y 6 ppm, por encima, según los océanos existe una capa de mínima concentración derivada de la oxidación de la materia orgánica y deja en libertad, en la misma profundidad, cantidades de dióxido de carbono, fosfatos y nitratos.

El metabolismo aeróbico trae consigo el aumento del dióxido de carbono, que de por sí mantiene concentraciones relacionadas con el contenido atmosférico y con la concentración de sodio, potasio y calcio. Al tiempo, el dióxido de carbono constituye un recurso para las algas que lo asimilan en el proceso de la fotosíntesis y pueden producir puntualmente una sobresaturación de oxígeno en la zona bien iluminada.

El nitrógeno mantiene, como el oxígeno y el dióxido de carbono, un equilibrio con la atmósfera en las capas superficiales. Como en los otros casos, también tiene una fuerte relación con la actividad biológica. Por un lado existen bacterias fijadoras de nitrógeno; otras, como nitrosomonas y nitrobacter, que mineralizan restos de materia orgánica y por otro, hay una cierta devolución de nitrógeno a la atmósfera a través de la actividad de las bacterias desnitrificantes y de las algas cianofitas.

El dióxido de carbono mantiene un sistema más complejo que el oxígeno y el nitrógeno. El agua oceánica presenta unos valores totales de cationes por encima que el de los aniones, como resultado muestra una ligera alcalinidad, reflejada en los valores del pH. El dióxido de carbono y los iones carbonatos disueltos mantienen reacciones complejas afectadas por la salinidad y la temperatura. El sistema, de tipo tampón, está en constante regulación y se hace invariante con un pH 8,2.

Por cada molécula de oxígeno consumido se elimina otra de O_2C , lo contrario de lo que sucede en la fotosíntesis. El agua de mar está generalmente saturada de carbonato cálcico, proceso que se ve favorecido por pH y temperatura altos; lo que va ligado a altos niveles de oxígeno, aguas superficiales, luz intensa y fotosíntesis, entre otras. En estas condiciones los organismos que desarrollan estructuras calcáreas se ven favorecidos.

El pH del medio tiene interés biológico y químico, ya que muchos procesos y reacciones están regulados por determinados valores. La determinación del pH se suele hacer por potenciometría mediante electrodo de vidrio o con indicador. Oscilan generalmente entre 7,5 y 8,4. Los máximos suelen encon-

trase en superficie, donde el equilibrio del O_2C con la atmósfera es bueno, además de decrecer por la propia actividad fotosintética. En aguas profundas, en las que la concentración de oxígeno es menor, se alcanzan los mínimos, que aún pueden decrecer en ausencia de oxígeno, donde el metabolismo anaeróbico. Como el valor del pH depende principalmente de la concentración de O_2C y siendo ésta función de la temperatura, salinidad y presión, se comprende su influencia. A estos factores hay que añadir los factores biológicos.

Por debajo de los 6.000 m la disminución del pH debido a la presión puede ser suficiente para provocar la disolución de algunas formas de carbonato cálcico que no es un constituyente normal de los sedimentos, viéndose sustituidas por silicatos.

DOM

En el agua de mar están presentes en solución, pequeñas cantidades de compuestos orgánicos muy variados. La determinación exacta de estas minúsculas proporciones de solutos orgánicos es difícil. Aunque la concentración es pequeña, la cantidad total en los océanos es muy grande y se calcula que existen alrededor de 15 kg de materia orgánica disuelta (DOM) por debajo de cada metro cuadrado del océano. Esta cantidad excede en mucho a la de la materia orgánica existente en forma particulada, ya sea como materia viva o como detritus orgánicos. El color amarillo, que en ocasiones presenta el agua del mar, está originado por varios componentes orgánicos en solución.

Estos solutos orgánicos tienen varias procedencias. En su mayor parte son de origen biológico. Algunos llegan al mar a través del drenaje de los continentes o por vía aérea en forma de partículas o de vapores. La mayor contribución debe proceder lógicamente de las actividades de los organismos marinos en procesos de fotosíntesis, excreción, rotura de tejidos muertos, etc. Posiblemente los tejidos vivos también desprenden trazas de materia orgánica y se sabe que algunos organismos liberan secreciones orgánicas en el agua como parte de su metabolismo fisiológico. Estos metabolitos externos se denominan productos exocrinos. En los últimos años se están produciendo compuestos orgánicos artificiales en cantidades crecientes y muchos de ellos acaban en el mar.

En aguas templadas la cantidad total de DOM muestra variaciones estacionales y un marcado incremento tras el "bloom" de fitoplancton primaveral (ver pág.000), lo que se traduce en valores altos durante el verano que descienden hasta un mínimo al final del invierno. Durante el verano se encuentran mayores cantidades de DOM por encima del termocline que por debajo de él. Parece posible que una fracción substancial de los productos orgánicos de la fotosíntesis reaparezca rápidamente en suspensión. Parte de este material puede desprenderse de las células vegetales durante la división celular; parte puede proceder de células viejas; otra parte, de células que están en una situación de stress, tal y como ocurre durante los "bloonis" de fitoplancton, y la mayoría puede llegar a través de la excreción y gestión de los animales.

4. El entorno dinámico

Los fenómenos básicos del desplazamiento costero de las masas de agua se centran en las corrientes, el oleaje y las mareas. El origen de cada uno de ellos es diferente pero, normalmente ocurren simultáneamente y manifiestan importantes interrelaciones.

Las olas comunes están producidas fundamentalmente por el viento; la marea astronómica está en relación con las diferencias de atracción entre la tierra, el sol y la luna, mientras que las corrientes marinas pueden ser debidas al viento, las descargas de ríos, diferencias termohalinas, o bien ser una consecuencia de la marea y el oleaje.

El oleaje constituye un movimiento circular de las moléculas de agua cuyo diámetro es el doble de la altura de la ola; sin desplazamiento horizontal, mientras que existe una interacción progresivamente menor con la profundidad, siendo mínima hacia la mitad de su longitud.

A pequeña escala, la dinámica general se debe traducir dentro del conjunto del concepto de hidrodinamismo, donde se conjugan todos los procesos que afectan al movimiento de las moléculas de agua. El hidrodinamismo determina condiciones ambientales características que van desde entornos muy expuestos a su acción hasta los muy protegidos, en ambos extremos las condiciones no son las más propicias para los organismos. Frente a lo negativo de su intensidad, se encuentra evitar el vaciamiento de los recursos tróficos especialmente para los organismos filtradores. Con igual consideración, un hidrodinamismo fuerte está íntimamente relacionado con la erosión, alteración de pequeñas estructuras e incluso rotura de ellas, mientras que valores bajos conducen a una sedimentación de materiales finos (fangos y limos).

5. Los ambientes de los fondos: sedimentarios y rocosos

La tipología de los fondos marinos se concreta en dos grandes conjuntos, los blandos o sedimentarios y los duros que agrupa, a los de roca y algas calcáreas. En ambos casos existen condiciones ambientales particulares, especialmente el hidrodinamismo, que afectan a los organismos que los habitan y a los restos arqueológicos allí depositados. De este modo las comunidades muestran estructuras biológicas relacionadas con esta componente ambiental definidas por la presencia de una o varias especies dominantes.

Las estructuras rocosas de los fondos duros determinan generalmente un relieve abrupto con una amplia variedad de "microambientes", donde las especies bénticas se desarrollan en una amplia variedad de comunidades que en ocasiones muestran modelos de distribución en mosaico, incluso a micro-escala. Las especies estructurantes son generalmente sésiles y están fijadas al sustrato, cubriendo la totalidad de la superficie rocosa, salvo en ambientes extremos, como muy expuestos al hidrodinamismo o en los fondos de las cuevas.

Los fondos sedimentarios, en apariencia más desérticos, albergan también multitud de poblaciones animales, en este caso, la mayoría entre los granos del sedimento. Es a su vez el tamaño del grano y en sentido más concreto, la granulometría, el factor determinante que afecta a la tasa de renovación de agua a través de la columna de sedimento. Una granulometría gruesa permite un mayor flujo de agua, con el consiguiente transporte de oxígeno. Mientras que a valores granulométricos bajos se reduce también el paso y el intercambio de agua de la masa superior; esto conduce a una reducción progresiva del oxígeno hacia el interior del sedimento. Las concentraciones de oxígeno pueden llegar a ser nulas, produciéndose un metabolismo anaeróbico característico con el desprendimiento de H_2S , siendo detectable a simple vista por el ennegrecimiento del sedimento y medible por los valores del pH y redox a diferentes profundidades. En fondos de limos, la capa aneróbica de color negro puede llegar a ser superficial.

6. Los aspectos biológicos

Los fondos marinos se encuentran poblados por multitud de organismos bentónicos. Se encuentran en los fondos blandos de carácter sedimentario, tanto sobre la superficie como en el interior del propio sedimento, siendo la granulometría un factor muy importante para la presencia de especies y el desarrollo de las comunidades, mientras que en los fondos rocosos y superficies biogénicas la estrategia más generalista es crecer sobre el propio sustrato, con una variada panoplia de morfologías corporales, que van desde las tapizantes a las globosas y arborescentes. Este conglomerado es aprovechado a su vez por un conjunto de organismos que habitan sobre o entre las formas estructurantes. Este tipo de distribución lo podemos encontrar sobre los restos arqueológicos sumergidos que no han sido cubiertos por sedimento.

Las bacterias son tan importantes en el mar como en la tierra por su acción desintegradora de la materia orgánica; estas bacterias viven en comunidad con algas microscópicas, en suspensión en el agua, en agregados de materias orgánicas precipitadas y sobre el fondo. La materia orgánica no podría ser reciclada, es decir, mineralizada y transformada en nutrientes, sin la intervención de determinadas comunidades de bacterias.

La superficie de los organismos marinos vivos y muertos, sus conchas, caparazones, mudas, heces, etcétera tienen superficies sumergidas que tienden a atraer y retener una película donde se depositan restos moleculares de materia orgánica. Por ello constituyen zonas con abundantes recursos tróficos para las bacterias.

Esta incipiente biopelícula viene a enriquecerse con nuevas bacterias, que aportan una mayor variedad de enzimas digestivas con las cuales aumenta la diversidad de sustancias orgánicas a degradar. De este modo se aumenta la diversidad bacteriana y se amplía el rango de explotación del recurso. En los amplios fondos oceánicos, la producción bacteriana es amplísima. La propia estructura sedimentaria favorece la presencia de bacterias, al tiempo existe una lluvia y deposición constante de materia orgánica.

Las bacterias, además de llevar a cabo la transformación de la materia orgánica, producen a su vez nuevas moléculas orgánicas a través de propios procesos quimiosintéticos. De este modo se convierten en condensadores de materia orgánica y por lo tanto, un recurso trófico para numerosas especies del plancton y bentos.

Las diatomeas, algas unicelulares y microscópicas, se encuentran entre el plancton y sobre los fondos en aguas poco profundas, creciendo en la superficie junto con las bacterias formando una capa de barrillo amarronado sobre la arena, rocas, piedras y prácticamente cualquier objeto. Son parte de los primeros estadillos de colonización biológica y de la formación del biofiling. Su crecimiento, como otras algas, viene determinado por la luz y los nutrientes.

En zonas de sustrato duro bien iluminadas, dependiendo de las condiciones hidrodinámicas y la profundidad, crecen diversas especies de macroalgas, sus estructuras de fijación, especialmente en el caso de las laminariales ayudan a la formación de microambientes donde se alojan biocenosis muy características. El recubrimiento de algas esconde generalmente un sustrato duro biogénico, presente también en zonas umbrías, constituido por algas calcáreas de los géneros *Mesophyllum* y *Lithophyllum*. Forman una estructura laminar de tonalidad rosácea que tapiza, paracticamente cualquier superficie. Su morfología laminar alberga una biocenosis y la correspondiente acumulación de materia orgánica, a su vez facilita el asentamiento de macroalgas y un extenso conjunto de invertebrados.

La fracción faunística de la biocenosis, asociada a los fondos, está compuesta por representantes de casi todos los grupos zoológicos, muchos de los cuales pasan por tener una fase larvaria de vida plantónica. Algunas de estas especies son capaces de afectar o alterar el sustrato sobre el que crecen, mientras que otras simplemente lo ocultan, debido a la densidad de las comunidades.

Entre las esponjas destaca la especie *Cliona celata*, muy polimorfa, su forma perforante recubre y penetra los cuerpos calcáreos, como conchas de moluscos y rocas calizas, disolviendo la caliza, se reconoce fácilmente por la cantidad de poros que presenta la superficie atacada. Otras especies incrustantes son *Hymeniacidon sanguinea*, *Halichondria panicea* y *Myxocolla incrustans*.

Los anélidos poliquetos cubren un amplio espectro morfológico y biológico; el grupo es muy diverso. Un reducido grupo de especies, concretamente *Polydora ciliata* y *P. hoplura*, aprovechan orificios en estructuras calcáreas, donde construyen pequeños tubos e incluso siguen profundizando en el sustrato; es común observarlos en conchas de grandes ostreidos.

Otras especies de poliquetos sedentarios típicos de colonización de sustratos son *Potamilla reniformis*, sobre fondos blandos cuyos tubos tienen partículas de arena y fango, aunque los más típicos son los espirórbidos: *Hydroides norvegica* de aspecto blanquecino y fuertemente soldado a piedras, algas, conchas y cascós de barcos; *Pomatoceros triquiter* forma tubos

curvados incrustados en otros tubos o conchas; *Spirobis borealis* en tubos pequeños en espiral sobre rocas y algas.

Otros tubos que también se cementan a la superficie de las rocas y a otras superficies, son las vermicularias. Los responsables son moluscos gasterópodos del género *Vermetus*; son de cuerpo alargado prácticamente vermiformes; en estado de larva, tienen la concha enroscada y al asentarse forman colonias de individuos pegados unos a otros.

El grupo de los invertebrados que cuenta con mayor número de especies perforadoras altamente especializadas, son los moluscos bivalvos, con su concha característica aunque en algún grupo es interna o está ausente. Los mecanismos de actuación varían de unas especies a otras, aunque el movimiento de sus valvas tienen mucho protagonismo, por lo general perforan durante toda su vida. Las especies perforadoras de roca como la *Hiatella artica*, excava en roca blanda de caliza o arenisca, ocupando a veces agujeros ya existentes, produce orificios profundos erosionados con sus valvas. Entre las especies que perforan mecánicamente las rocas blandas de arcilla o arena compacta sin alterar su composición destacaremos las especies, *Barnea spp*, *Zirfaea crispata* o *Gastochaena dubia* que forma una cavidad a modo de botella tapizada por partículas de concha y secreciones del animal.

Otros moluscos característicos de las costas mediterráneas como la *Petricola lithophaga*, de pequeño tamaño y color grisáceo, y *Lithophaga lithophaga*, dátíl de mar, de mayor tamaño que excava y ataca exclusivamente rocas limosas, disolviendo su superficie con el ácido producido en sus glándulas.

A veces la Barrena, *Pholas dactylus*, también molusco bivalvo, alarga la cavidad a medida que va creciendo utilizando su línea de dientes de la concha. Es una especie de tamaño grande con un pie adherente que se fija al fondo de la cavidad habitada y con los dientes duros situados en la mitad frontal de las valvas, horada la roca con movimientos de vaiven, realizando redondeados.

El erizo de mar, *Paracentrotus lividus*, no es un excavador nato, pero el movimiento de sus púas llega a dejar unas marcas redondeadas o pequeñas depresiones sobre las rocas blandas.

Entre los organismos xilófagos, perforadores de madera, cabe destacar los moluscos bivalvos y los crustáceos que se consideran una maldición para los barcos, machinas y pontones. En este grupo se encuentran nuevamente moluscos bivalvos. El más característico es el teredo obruma, *Teredo navalis* o *Calamitas navium*, taladra estructuras de maderas, tanto sumergidas como flotantes. Su cuerpo alargado realiza galerías con la concha reducida que recubre parte anterior del animal; funciona como un taladro, produciendo la abrasión de la madera que a su vez “ingiere” y acumula en el estómago, pero se desconoce si le sirve de alimento. Su vida es corta, no sobrepasan el año, durante el cual es capaz de realizar extensas galerías alargadas.

En las maderas flotantes también se pueden apreciar otras perforaciones redondas y poco profundas, son las producidas por la especie *Xilophaga dorsalis*, parecida a la broma pero no “digiere” la madera,

Entre los crustáceos podemos encontrarnos desde las especies que se fijan a las superficies flotantes, cascos de los barcos y estructuras duras del fondo, como los cirripedos, especialmente del género *Balanus*. Sobre objetos flotantes pueden encontrarse los falsos percebes o aguachones, *Lepas anatifera*. Perforando la madera, junto a los moluscos ya descritos, se encuentra un isópodo de pequeño tamaño pero tan destructivo como el Tereido, *Limnoria lignorum*, que produce en la madera agujeros superficiales y paralelos, parecidos a la carcoma terrestre; también se le ha encontrado en cubiertas aislantes de cables submarinos. A esta especie se encuentra asociado otro crustáceo anfípodo, *Chelura terebrans*, de tamaño mayor, que ocupa la parte superior de los agujeros ya practicados y los continúa alargando. Estas bioturbaciones permiten además el desarrollo de biocenosis particulares y acumulación de materia orgánica, con todo el conjunto de procesos biológicos, bioquímicos y químicos que conlleva.

Todos los organismos que viven, crecen y se reproducen sobre estructuras sumergidas, desde los cascos de embarcaciones, obras civiles, pilares de muelles, plataformas petrolíferas, instalaciones de acuicultura, hasta los restos arqueológicos y en general en sustratos artificiales, muestran una sucesión biológica desde la biopelícula formada fundamentalmente por agua, mucílago y bacterias, que constituyen inicialmente el biofiling, hasta las abigarradas comunidades de algas marinas, cnidarios (hidrozoos y antozoos), anélidos poliquetos, moluscos, crustáceos, ascidiáceos y briosos. Su nivel de fijación va a depender de la naturaleza de la especie, la competencia por el espacio, su velocidad de movimiento, los factores estacionales y el tipo de superficie.

Las interrelaciones del medio y los organismos en los restos arqueológicos

La presencia de organismos sobre los distintos tipos de materiales presentes en los pecios permite conocer algo de su historial sumergido.

A partir de su inmersión en el agua de mar, comienzan a verse afectados por los procesos químicos, especialmente por la capacidad de oxidación-reducción. Mientras que los parámetros físicos, especialmente la temperatura va a favorecer o a retardar determinados procesos.

El desarrollo de una biopelícula bacteriana madura, con gran cantidad de agua, se establece a los primeros treinta días de la inmersión.

En los fondos rocosos, donde los restos quedan sobre la superficie y entre las estructuras rocosas, la biopelícula va dando paso al asentamiento de especies ubicuas y oportunistas, como algas verdes, entre otros. Con el paso del tiempo van observándose nuevas especies bénticas que paso a paso muestran una típica sucesión biológica y de maduración ecológica, llegando a cubrir las por completo integrándolas en el paisaje, mientras que otras afectan a su estructura dependiendo del tipo de material.

Los restos enterrados entre los sedimentos, en apariencia más protegidos por los granos del sedimento, también tienen pistas biológicas sobre su historial subacuático, muy relacionado con los niveles de metabolismo anaeróbico.

Los restos calcáreos, como tubos de espiróbidos, caparazones de balánidos, cementaciones de otreidos y de algas calcáreas dan información sobre la disposición espacial, al menos durante un periodo de su historia arqueológica. El grado de afección o actuación biológica propia de los organismos aporta también información para conocer su historial.

METODOLOGÍA DE LA ARQUEOLOGÍA SUBACUÁTICA

Carlos LEÓN AMORES

Arqueólogo y buceador profesional

Director de Programas de Arqueología de la Fundación ICASUR

La investigación arqueológica submarina no tiene una metodología muy distinta a la que se hace en tierra firme, aunque sí algunas técnicas especializadas adaptadas a un medio diferente, en este caso, el agua. Como han repetido otros investigadores, sólo existe una arqueología, la que trata de reconstruir nuestra historia a partir de los restos materiales de nuestros antepasados. Desde este punto de partida, damos por hecho que los planteamientos generales de la metodología arqueológica son igualmente válidos para excavar un poblado de la Edad del Bronce, que para rescatar los restos de un galeón hundido a veinte metros de profundidad. El papel del arqueólogo subacuático consiste en adaptar la metodología de la investigación arqueológica al medio acuático utilizando los instrumentos adecuados para desenvolverse en un entorno en el que la profundidad, el tipo de fondo o la temperatura del agua pueden condicionar notablemente su trabajo.

En palabras del arqueólogo y especialista en construcción naval romana Patrice Pomey *"La arqueología subacuática no es una actividad autónoma, ni una disciplina arqueológica, sino una técnica particular al servicio de la arqueología; técnica que permite a la arqueología extender su campo de investigación al rico mundo subacuático"*.

Efectivamente, la arqueología subacuática amplía el campo de acción de la arqueología a una serie de temas muy difíciles de investigar si no es a través del estudio de los naufragios, como son: el comercio marítimo, la navegación, la construcción naval, la vida a bordo o la guerra en el mar.

Prospección

El trabajo de campo de la arqueología subacuática se suele dividir, básicamente, en dos fases: la prospección y la excavación.

Entendemos por prospección el conjunto de trabajos encaminados al estudio de una zona geográfica amplia con el fin de localizar el mayor número posible de sitios arqueológicos mediante un reconocimiento superficial, realizando una clasificación cultural y evaluando su estado de conservación. Nuestra actual legislación define la prospección como la exploración superficial, sin remoción de terreno, dirigida al estudio, investigación o examen de datos sobre toda clase de restos históricos, así como los componentes geológicos con ellos relacionados.

Recogida de información

Como cualquier otro trabajo científico la prospección arqueológica subacuática tiene una primer fase de *documentación y estudio de fuentes de información*, como son la cartografía o los textos escritos. En cualquier proyecto de arqueología subacuática, antes de comenzar las campañas de prospección o excavación es imprescindible recopilar información exhaustiva sobre la zona en la que se va a trabajar.

Ante una prospección en la que pueden aparecer restos de épocas muy distintas, es fundamental recopilar información sobre todas ellas. La primera información imprescindible es la de los *textos históricos* que nos hablan de naufragios concretos. Es necesario recoger, en los archivos más apropiados (Archivos Históricos como el General de Indias o el de Simancas, archivos de Museos Navales y Marítimos, Archivos militares, regionales, locales, hemerotecas...), noticias de naufragios, textos judiciales, registros de carga, estudios históricos, etcétera, en los que pueda haber pistas para la localización de posibles restos arqueológicos.

Este es un trabajo lento y minucioso en el que la información puede ser tremendamente voluminosa, dada la calidad y cantidad de la burocracia antigua, sobre todo la relacionada con la Carrera de Indias, que trataba de registrar y controlar con absoluto detalle el comercio que se realizaba por vía marítima.

Además de la información histórica es imprescindible la recopilación de *información cartográfica*. En las cartas náuticas antiguas y portulanos podemos encontrar información valiosa sobre cómo era la costa en una época concreta, qué edificaciones costeras existían, qué pasos eran especialmente difíciles para la navegación, qué bajos peligrosos estaban cartografiados, qué lugares de aguada había o qué puntos de fondeo. Además, la información cartográfica se completa con la toponímica que nos describe el nombre de algunos lugares concretos (puntas, bahías, bajos, estrechos, fondeaderos, puertos, pueblos, ciudades, ríos...) de los que podemos tener referencias en los textos históricos pero que después han dejado de utilizarse.

El rastreo toponímico, a veces, aporta pistas decisivas para localizar posibles hundimientos pues hacen referencia a un naufragio, a una construcción litoral, a un lugar peligroso para navegar, a un fondeadero, a una aguada, a una batalla naval o a un lugar en el que se encuentran restos históricos. Sirvan como ejemplo algunos topónimos con estas características documentados en prospecciones arqueológicas submarinas (Punta de trincabotijas, Bahía de la nave perdida, Punta encalladora o Bajo del tesoro).

En ocasiones, el nombre del barco naufragado ha servido para bautizar el lugar geográfico en el que se hundió, como es el caso del actual bajo de San José, en la costa de Panamá, en el que colisionó y se hundió el galeón español con el mismo nombre en 1631. A partir de esta fecha, su nombre comienza a aparecer en la cartografía llegándonos hasta la actualidad.

Unido al estudio de la cartografía antigua suele hacerse el de las cartas náuticas actuales para contrastar lugares, nombres, línea de costa, construc-

ciones litorales, y para conocer con detalle, antes de utilizar técnicas de teledetección o prospección con buceadores, la topografía exacta del fondo submarino, las profundidades y los tipos de fondo (arena, cascajo, roca o vegetación).

Otra fuente de información que hay que rastrear antes de hacer un trabajo en el agua es *la información arqueológica*, es decir, los posibles restos arqueológicos que puedan hallarse en los museos cercanos o en colecciones particulares. Esta información nos dará una idea aproximada del tipo de objetos que podemos encontrar, de su posible atribución cultural y del lugar en el que fueron hallados. La tónica general nos dice que son las gentes del entorno local, los pescadores, los marinos y los buceadores, los que más información tienen sobre los posibles naufragios. Por eso, es fundamental encuestar a estos colectivos que, en unas ocasiones colaborarán muy activamente con nuestro trabajo, y en otras serán los más reacios a darnos ningún tipo de información.

La falta de aplicación de la legislación sobre Patrimonio Arqueológico Sumergido ha permitido que coleccionistas y buscadores de tesoros guarden en su poder restos arqueológicos de gran valor histórico sin permitir su estudio e investigación. Incluso, en algunos países, es habitual la práctica de dividir los restos hallados, en porcentajes convenidos entre el buscador de tesoros y el gobierno. En cualquier caso, es imprescindible documentar cualquier objeto arqueológico de procedencia submarina expuesto en museos públicos o privados o en colecciones particulares.

Por último, debemos conocer con todo detalle las publicaciones de trabajos arqueológicos realizados con anterioridad y las noticias periodísticas de hallazgos arqueológicos submarinos.

Todos los datos recogidos forman un puzzle de informaciones que habrá que componer para obtener una primera selección de lugares con mayor probabilidad de localización de hallazgos, paso previo, como hemos dicho anteriormente, a la teledetección y a la prospección con buceadores.

Teledetección

En los últimos veinte años es habitual el uso de técnicas de teledetección para la localización, identificación y documentación de restos arqueológicos submarinos. Este tipo de prospección significa un gran avance frente a los sistemas tradicionales por lo que se ha convertido en una herramienta fundamental para la investigación arqueológica subacuática. Sin embargo, no es oro todo lo que reluce. La teledetección es útil siempre y cuando se utilice el instrumento adecuado según los condicionamientos y los objetivos de cada zona a prospectar. Utilizar medios tecnológicos modernos para dar un barniz científico a un proyecto de prospección arqueológica puede resultar un gasto inútil si no se sabe exactamente lo que se puede pedir a cada técnica o a cada instrumento.

Las ventajas de la teledetección son claras, Por un lado, permiten conocer y documentar el fondo submarino sin necesidad de utilizar buceadores, con el riesgo que ello conlleva. Por otro lado, es posible registrar zonas de gran

amplitud, o zonas inaccesibles por su profundidad para los medios de prospección tradicionales. Los inconvenientes generales que podríamos citar serían la falta de adaptación de algunos sistemas que han sido diseñados para la teledetección geológica y no arqueológica; la falta de experiencia de los geofísicos en la identificación de restos arqueológicos, y el alto coste que significa su uso.

Resumiremos aquí los medios técnicos más utilizados y que mejores resultados han dado en la localización de restos arqueológicos.

Sonar de barrido lateral

El SDS (Side Scan Sonar) es uno de los instrumentos más utilizados en la teledetección submarina ya que permite conocer el relieve submarino y localizar elementos que yacen en el fondo submarino que pudieran sobresalir del fondo o diferenciarse del entorno submarino en el que se encuentran.

El principio básico de este aparato es la emisión de señales acústicas a babor y estribor de un "pez" remolcado que él mismo transforma, por medio de los transductores, en impulsos eléctricos para producir un registro gráfico continuo de la superficie del fondo. Los más actuales y sofisticados suelen tener doble frecuencia y alta resolución con corrección de imágenes y control de ganancia automático que proporciona una imagen impresa detallada del fondo marino abarcando un área máxima de 400 metros a cada lado de la derrota de la embarcación que remolca el sensor. La sonografía impresa es una imagen del fondo visto desde la posición del "pez" remolcado en el que están instalados los emisores acústicos. Un transductor proporciona además la posición exacta del "pez" remolcado con respecto al fondo.

Aunque a bordo puede ir viéndose la sonografía continua del fondo, será después, en el laboratorio, cuando se analice con detalle la posible existencia de elementos que sobresalen del fondo pudiendo medir su altura aproximada en función de la sombra que proyecta el objeto en la sonografía. Las posibles anomalías formarán parte de la siguiente selección de puntos de interés.

Perfilador de sedimentos

Este instrumento se utiliza para conocer un perfil vertical de alta resolución del sedimento que forma el fondo submarino. Su poder de penetración está limitado a unos 50 metros de profundidad y está condicionado por la dureza y densidad de los sedimentos. El perfilador emite haces de energía acústica de baja frecuencia que penetran en el fondo reflejando la sección de forma gráfica en una serie de horizontes acústicos que indican las variaciones del material que encuentra bajo el fondo. La línea estratigráfica obtenida es útil para descubrir estructuras colmatadas y enterradas bajo el fondo submarino, siendo los fondos fangosos y de arena suelta en los que se obtienen mejores resultados.

Magnetómetro de Protones

El magnetómetro detecta bajo el agua las variaciones del campo magnético de la Tierra y la existencia de un metal ferromagnético sumergido que

pueda alterarlo. El sensor, en forma de campana, es arrastrado por el barco mediante un cable transmisor conectado a un registrador gráfico. Este mismo cable sirve para estabilizar el magnetómetro bajo el agua por medio de una salida de aire a presión. Los protones son el elemento activo de este instrumento que registra cualquier variación del campo magnético produciendo una gráfica y una numeración digital.

Actualmente existen en el mercado magnetómetros manuales para ser utilizados por un buceador y reconocer el fondo submarino en busca de restos metálicos. Funcionan con una tecnología similar a la de los detectores de metales, con un mecanismo que emite una señal acústica variable que el buceador escucha bajo el agua para reconocer la existencia de variaciones importantes del campo magnético.

Detector de metales

El principio básico de este aparato de detección está en la búsqueda de medidas del campo eléctrico establecidas en el agua por las reacciones electroquímicas de los objetos metálicos. También es un instrumento remolcado por la embarcación con un ánodo y un cátodo conectados a un registrador gráfico. También se fabrican detectores de metales manuales con una señal acústica que se acciona al detectar objetos metálicos bajo el agua.

Ecosonda

La ecosonda es un instrumento fundamental en la navegación. Se utiliza para conocer en cada momento la profundidad exacta del fondo submarino. Es un auxiliar de la navegación y a la vez un instrumento perfecto para la realización de batimetrías o levantamientos topográficos submarinos. La ecosonda se basa en el principio de emisión y recepción de ondas acústicas contra el fondo marino. Este aparato calcula el tiempo que pasa entre emisión y recepción y deduce, después de aplicar la variable de la densidad del agua y la velocidad de propagación de las ondas, el espacio recorrido por las ondas y por tanto la profundidad del fondo. Un transductor transforma estas señales en impulsos eléctricos con los que la ecosonda registra de forma gráfica y numérica la profundidad del fondo y su perfil en cada punto.

Cámara de vídeo remolcada

La eficacia de las cámaras de vídeo remolcadas se ha demostrado en numerosas ocasiones. Este sistema de circuito cerrado permite la prospección en tiempo real en condiciones de visibilidad en las que un buceador probablemente no vería nada o casi nada y en profundidades a las que un buceador no podría acceder o lo haría con el tiempo de inmersión muy reducido. Además, la grabación de la calle realizada por la cámara es ya una forma de documentar el fondo que puede ser utilizada con posterioridad para examinar la posibilidad de restos arqueológicos bajo el agua.

Cámara de vídeo robotizada

Las cámaras de vídeo y fotografía robotizadas dirigidas desde superficie son un paso más en la tecnología para la localización de restos arqueológi-

cos bajo el mar. Se trata de cámaras con cable y motores horizontales y verticales que facilitan la inmersión y la maniobrabilidad a grandes profundidades.

La tecnología de videoprospección es costosa y quizá por ello poco utilizada, sin embargo, en los casos en los que se ha llevado a cabo los resultados han sido espectaculares. No es un medio apto para prospectar por calles sino, más bien, para explorar un punto concreto con la embarcación en superficie detenida.

Posicionamiento y teledetección conjunta

De nada serviría localizar mediante teledetección un posible yacimiento arqueológico submarino si no podemos posicionarlo con la precisión necesaria como para poder volver a él. Cualquier prospección con medios técnicos requiere el uso de un sistema de posicionamiento en movimiento que deje constancia exacta de la ruta seguida por el barco que está remolcando los instrumentos de teledetección. Esta ruta será, en la mayor parte de los casos una red de calles equidistantes que dejarán el mínimo espacio sin registrar. Dependiendo de la amplitud de la zona, de la profundidad del fondo y del tiempo y presupuesto disponible, estas calles estarán más o menos cercanas y serán más o menos numerosas.

El posicionamiento más utilizado actualmente es el GPS con corrección diferencial integrado en una red de satélites geo-estacionarios que cubren casi la totalidad de la superficie de la Tierra. El resultado es un posicionamiento de precisión con un error aproximado de un metro.

Asociado al sistema de posicionamiento de la embarcación debe ir un sistema de navegación, tipo Hypack para entorno Windows, que permita la corrección automática del rumbo en movimiento y el trazado perfecto de las calles preestablecidas sobre la carta náutica.

Todos los instrumentos mencionados pueden unirse en una prospección integrada en la que cada aparato proporciona una información complementaria. Una misma embarcación puede llevar remolcados a la vez el sonar de barrido lateral, el magnetómetro de protones, el detector de metales, la eco-sonda y la cámara arrastrada. Es una forma de optimizar los resultados de la teledetección y una forma de aprovechamiento máximo de los recursos en un período menor de trabajo.

Para ello es necesario tener instalados en el barco todos y cada uno de los sensores, transductores y registradores, y además organizar un sistema ordenado para poder largar o recoger los umbilicales de cada instrumento. Por otro lado se necesita tener un conocimiento preciso de la posición exacta de cada uno de los instrumentos bajo el agua para saber después si una anomalía registrada en un aparato corresponde con la de otro que ha pasado sobre el mismo objeto sumergido en un momento distinto. Además hay que tener en cuenta que algunos aparatos trabajan a distancias del fondo distintas a las de otros y que, en cualquier caso no deben nunca colisionar, ni entrelazarse los umbilicales.

Prospección con buceadores

El resultado de una prospección con equipos de teledetección será una batimetría del fondo submarino de la zona elegida y una serie de anomalías o puntos de interés cada vez más definidos que, siempre que sea posible, deberán ser inspeccionados mediante una prospección ocular con buceadores para descartar la posibilidad de que se trate de un resto arqueológico.

Cada punto seleccionado estará definido por sus coordenadas de situación, su distancia a la costa, su profundidad, el tipo de fondo, el tipo de objeto o conjunto de objetos, su identificación histórica, el nivel de posibilidad de hallazgo arqueológico y la coincidencia entre las fuentes de información y la teledetección. De esta forma, los puntos seleccionados estarán clasificados por estos parámetros para poder establecer una escala de prioridades de prospección.

La profundidad es siempre uno de los parámetros que más marca la selección de puntos, por eso suelen ordenarse en función de unas franjas de profundidad: de 0 a 10 metros, de 10 a 25 metros, de 25 a 40, de 40 a 60, de 60 a 100 y de 100 en adelante. Estas categorías condicionan a su vez el tipo de inmersión a realizar (con aire comprimido o con mezcla de gases, con paradas de descompresión o sin ellas, con botellas de aire o con suministro de aire desde superficie, etcétera)

Una vez decidida la prospección en los puntos seleccionados se procede a la planificación de la operación de buceo según las normas internacionales de esta profesión. La infraestructura necesaria variará notablemente en función del entorno. Puede ser necesaria una gran embarcación, puede ser suficiente con pequeñas embarcaciones neumáticas, o incluso, si la cercanía a la costa lo permite, pueden ser bastar una pequeña infraestructura en tierra y un pontón de trabajo.

Prospección por calles

Una vez definida la zona prospectar es precisa la puesta en marcha de una mecánica que permita el rastreo sistemático dejando el mínimo espacio por explorar. Una de las técnicas más empleadas es la de crear una serie de calles que pueden estar materializadas en el fondo y en superficie por medio de cabos, muertos y boyas.

Las calles son recorridas por los buceadores en pareja utilizando torpedos propulsores para poder recorrer el mayor espacio en el menor tiempo posible. Cuando los puntos que marcan las calles solo están materializados puntualmente sin cabos que los vayan uniendo es preciso el uso de la brújula para ir de una boya hasta la siguiente. Estas brújulas submarinas pueden instalarse en los torpedos de propulsión.

También puede utilizarse la técnica del remolque con planeador. En este caso, una embarcación remolca los buceadores que navegan bajo el agua cogidos a una pequeña superficie de madera o plástico siguiendo un rumbo fijado por la embarcación y trazando una serie de calles equidistantes.

Cuando la superficie del fondo submarino presenta una pendiente importante, las calles se trazarán siempre con rumbos perpendiculares a la pendiente, comenzando por la zona con mayor profundidad para que la inmersión sea más segura y la descompresión menor.

Prospección por círculos concéntricos

Otra técnica de prospección es la de círculos concéntricos. Es útil en áreas más pequeñas, para localizar algo en un radio de unos 50 metros. A partir de una boya y un muerto en el fondo al que se le une una cinta métrica, la pareja de buceadores realiza la búsqueda realizando un círculo y desplazando la cinta métrica. La distancia hasta el muerto puede ir aumentando y con ella el radio de búsqueda.

Para prospectar con este sistema una zona amplia es necesario colocar varias boyas con sus muertos y hacer círculos suficientemente amplios como para que se solapen y dejen el menor espacio sin rastrear.

Tanto en la prospección con calles como en la que se realiza mediante círculos concéntricos es fundamental poder posicionar los hallazgos en el momento con pequeñas boyas unidas a plomos de peso variable.

Cuando la prospección ha de hacerse en zonas con muy poca visibilidad las manos han de ir tanteando el fondo. También es útil en estos casos el uso de cámaras de circuito cerrado que permiten mayor visibilidad que el ojo humano y que pueden estar manejadas por un buceador visualizando la imagen en la superficie desde donde se le pueden dar indicaciones gracias a las transmisiones submarinas.

Topografía submarina

Una vez localizados los restos arqueológicos se realizará una planimetría sencilla para ubicar los restos superficiales y relacionarlos espacialmente. Los profundímetros submarinos actuarán como instrumentos para medir la cota de los objetos, mientras la brújula y la cinta métrica serán los principales aliados en los trabajos de topografía.

Existen diferentes métodos de posicionar objetos bajo el agua. Lo primero es situar un punto de referencia posicionado mediante un GPS con diferencial desde la embarcación o con una estación topográfica desde tierra, siempre y cuando la distancia a la costa lo permita.

Bajo el agua, este primer punto, materializado con un muerto y una boya, servirá para establecer las mediciones necesarias aplicando alguna de las cuatro técnicas más empleadas para posicionar en el medio submarino: la radiación, la triangulación, el itinerario orientado y la trilateración.

La excavación arqueológica

La excavación es un medio destructivo de investigación, es una disección del yacimiento para estudiarlo y extraer de él los elementos que lo conforman. Cuando se excava un yacimiento, desaparece como tal y desaparece con él la posibilidad de una segunda lectura del mismo. La información que no

se haya documentado y registrado puede perderse para siempre. Por eso se insiste en la necesidad de que las excavaciones sean el último recurso de la investigación y, que cuando se hagan, sea de una forma científica, sistemática y rigurosa.

Las recomendaciones internacionales en materia de patrimonio arqueológico submarino, emanadas de la experiencia de más de cincuenta años de excavaciones sistemáticas, establecen una serie de criterios básicos a la hora de pensar en una intervención de este tipo, antes de la cual habrá que asegurarse de que existen los recursos necesarios para llevar a cabo el trabajo hasta el final, desde la localización hasta su exposición en un museo.

Estos criterios generales, con innumerables salvedades, recomiendan excavar únicamente los yacimientos seriamente afectados por el expolio continuado, los amenazados por una destrucción inminente, los yacimientos cuyas características culturales o históricas sean absolutamente únicas, los que completan o contrastan una investigación arqueológica, los que están a poca profundidad frente a los que están en aguas profundas y los que carecen de estructura de madera frente a los que la tienen.

En este sentido, algunos equipos de investigación en arqueología subacuática han desarrollado su actividad fundamentalmente en barcos que han sido expoliados o excavados por buscadores de tesoros. Un caso podría ser el de los navíos españoles Nuestra Señora de Guadalupe y Tolosa excavados en 1975 por el buscador de tesoros Tracy Bowden y estudiados en los años noventa por un equipo de arqueólogos e ingenieros navales españoles. El resultado de su intervención proporcionó información inédita sobre el sistema de construcción de estos barcos, acerca de parte de su cargamento oculto bajo tablas del casco que pasaron desapercibidas por los buscadores de tesoros y sobre los huesos conservados de animales que iban embarcados y que fueron desechados en su primera excavación. Algo similar ocurrió con el barco holandés de "las pipas", hundido en las costas de la República Dominicana y reexcavado años más tarde por el Institute of Nautical Archaeology de Texas.

Las destrucciones inminentes por construcciones inminentes también han motivado numerosas excavaciones arqueológicas submarinas de barcos que estaban situados en zonas portuarias siendo localizados durante las labores de prospección preventiva.

La excavación arqueológica supone normalmente la *remoción ordenada del terreno* para descubrir los restos ocultos registrando, durante el proceso, cada detalle de los objetos y estructuras que van apareciendo. En el caso de los barcos hundidos, la excavación suele tener dos fases distintas: la excavación y recuperación del cargamento, por un lado, y el estudio del casco del barco que se conservará siempre *in situ*, por otro.

Ambas fases se fundamentan en el principio de la metodología arqueológica general que da especial importancia a la ubicación de los objetos y sus relaciones espaciales y en el descubrimiento sistemático por capas de los restos. Estos dos aspectos nos llevan a la necesidad de documentar la tridimen-

sionalidad de todos y cada uno de los elementos que forman el yacimiento para después, en el laboratorio, poder establecer hipótesis de reconstrucción. En este sentido, es tan importante para un arqueólogo submarino saber aplicar las técnicas apropiadas para obtener la información que necesita, como conocer a fondo el objeto que está excavando para poder hacerle las preguntas adecuadas.

La técnica de trabajo más habitual, a la hora de excavar bajo el agua, es la de crear una referencia espacial en forma de cuadrícula. Casi todas las cuadrículas de excavación suelen tener una parte rígida construida con hierro, aluminio o PVC con perfil de aluminio. Este cuadrado o rectángulo tendrá después una serie de cabos que forman una retícula de cuadrados más pequeños en unidades de un metro por un metro. A su vez, se suelen crear otras retículas más pequeñas con subdivisiones de diez por diez centímetros. Este entramado de cabos forma la referencia espacial horizontal, mientras que la referencia vertical, es decir, la cota o profundidad, estará referida a un plano imaginario horizontal formado por la propia profundidad de la cuadrícula.

Con estas referencias espaciales bien fijadas al fondo marino y perfectamente niveladas comenzará el proceso de excavación que implica la remoción de los sedimentos que ocultan el yacimiento. Es muy frecuente encontrar los naufragios cubiertos totalmente por una capa de vegetación o una costra de coral, según los mares. Retirar esta capa es un trabajo duro en ambos casos. Bajo ella, seguramente habrá un sedimento mucho más suelto y deleznable de arena, fango, cascajo o tierra compacta hasta llegar al primer estrato fértil del yacimiento. Este tipo de sedimento requiere el uso de otro instrumento característico de la arqueología submarina: la manguera de succión, una especie de aspirador de sedimentos de potencia regulable, construido a partir de una motobomba mecánica o un compresor de alta presión. En cualquiera de los casos, la manguera de succión es el equivalente de la cerretilla en tierra, no del pico y la pala. Los sedimentos han de ser retirados con sumo cuidado, son parte del yacimiento, y pueden contener pequeños objetos que no deben pasarse por alto. Para ello pasarán por un tamiz o una rejilla antes de ser acumulados en un lugar de la excavación donde no estorben al trabajo arqueológico.

Los objetos arqueológicos y las partes del casco que pudieran ir apareciendo al retirar el sedimento han de ser documentadas antes de extraerlas y subirlas a la superficie. El registro y documentación gráfica de una excavación tiene varias facetas, todas ellas relacionadas entre sí: el dibujo, la fotografía y la filmación.

Bajo el agua es posible dibujar con toda precisión los restos arqueológicos, exactamente igual que en una excavación terrestre. El dibujo arqueológico bajo el agua se realiza en papel poliéster milimetrado o no, colocado sobre una tablilla rígida de chapa, aluminio o metacrilato. Un portaminas sin piezas metálicas es perfecto para dibujar sobre el papel poliéster mojado, también puede utilizarse un lápiz de minas intercambiables. La goma, la regla, la plomada y la cinta métrica sumergible completan el equipo de dibujo submarino. El procedimiento es el mismo que el que se emplean en tierra y que consiste en ir tomando referencias espaciales de cada objeto en sentido horizon-

tal y vertical para definir la posición exacta del objeto en sus tres dimensiones y en referencia al marco de la cuadrícula en la que se encuentra. Una vez excavado, documentado y extraído todo el cargamento del barco nos enfrentaremos al dibujo de los restos del casco del que hablaremos más adelante.

La fotografía submarina, fundamental como proceso de documentación, tiene también sus propios condicionantes. Por un lado, los colores, tal y como los vemos en tierra firme, desaparecen paulatinamente al aumentar la profundidad. El primero en desaparecer es el color rojo, después el naranja, el verde y el amarillo. Para rescatar los colores originales es necesario el uso de un flash o un foco de iluminación continua además de trabajar con película de alta sensibilidad. La luminosidad también disminuye con la profundidad. Otro problema añadido son las partículas en suspensión que pueden llegar a enturbiar seriamente el agua sobre todo en fondos fangosos o limosos. Quizá por todos estos condicionantes es muy frecuente el uso de la fotografía en blanco y negro para documentar los procesos de trabajo.

Existen en el mercado distintas opciones de cámaras fotográficas submarinas. Por un lado hay cámaras compactas sumergibles a distintas profundidades, algunas de ellas con la posibilidad de fijar el diafragma y la distancia de foco como las conocidas Nikonos V. También existen carcasas submarinas para modelos de cámaras reflex con manejo automático o manual y carcasas para cámaras digitales.

La documentación fotográfica es especialmente interesante para poder construir una imagen completa del yacimiento. Normalmente es imposible hacer una fotografía "aérea" de los restos de un naufragio pues, al alejarse del objeto para que pueda entrar en el marco de la fotografía, la cantidad de agua que existe entre la cámara y el objeto es tal, que todo queda difuminado y sin detalle alguno. La única posibilidad de sacar fotografías con detalle de todo el casco de un barco completo es la de construir un fotomosaico uniendo fotografías parciales tomadas a corta distancia. Dado que la excavación requiere una reticulado de estructura rígida y cabos, lo normal es que esta misma estructura sirva de soporte para montar una o dos cámaras submarinas y poder ir haciendo fotografías de cada cuadrícula para unir las después. Tan solo hace falta un puente de hierro, aluminio o PVC, que se apoye en la parte rígida de la cuadrícula y que, mediante un soporte con de ruedas, pueda situarse sobre cualquier punto de la retícula de excavación.

A la hora de fotografiar los restos del casco de madera es necesario, además del etiquetado de las piezas, para tener una referencia exacta de cada elemento en la fotografía, señalar, con líneas y puntos visibles, las separaciones entre las tablas, los escarpes, las cabillas y las clavijas de madera. En muchas excavaciones esto se soluciona con chinchetas de cabeza blanca para las clavijas pequeñas y cable metálico con camisa blanca para las cabillas y las uniones entre tablas.

Las tablillas de fotografía se utilizan, como en tierra, para incorporar a la fotografía, los datos concretos de la cuadrícula, estrato o nivel, contexto, fecha, nombre del yacimiento y una referencia del norte magnético.

La *videofilmación* es también un instrumento de documentación indispensable, tanto para su difusión posterior en reportajes, documentales o vídeos museográficos, como para tener constancia de cada fase de trabajo y cada hallazgo realizado. Al igual que ocurre con la fotografía existen en el mercado diversas opciones para filmar un trabajo arqueológico. No existen cámaras de video sumergibles, sin embargo si hay carcasas adaptables a una gran cantidad de modelos de video-cámara y focos de mayor o menor potencia para iluminar bajo el agua. Los formatos son también muy variados: VHS, Super 8, Hi 8, DV, DVC pro o Betacam, que es el formato profesional.

Por último es importante destacar que la documentación de una excavación se completa con la descripción detallada y exhaustiva de todos y cada uno de los hallazgos y con la creación de una serie de *fichas informatizadas* en las que quedan registrados todos los datos necesarios en el proceso de trabajo. Estas fichas suelen tener campos muy diversos para ubicar los objetos en el contexto general del yacimiento, para clasificarlos por materiales, para describir su forma de construcción, su decoración, sus dimensiones, su posible atribución cultural, su posición tridimensional en el yacimiento, su relación con otros objetos cercanos, su naturaleza, su estado de conservación, su morfología, su número de inventario, su número de hallazgo, etc.

Una vez documentados (dibujo, fotografía, video y descripción) los objetos bajo el agua serán extraídos e izados a superficie teniendo extremo cuidado para que no se dañen en esta operación. En algunas excavaciones se han diseñado grandes cestas que suben cargadas de materiales por medio de globos ascensionales dirigidos por cables metálicos. Sin embargo, hay materiales que, por su gran fragilidad han de ser extraídos y llevados a superficie utilizando soportes rígidos especiales, a modo de camillas, para que durante el trayecto no sufran daño alguno.

No quisiera terminar este apartado sin apuntar la necesidad de crear equipos interdisciplinarios en una tarea tan compleja como el estudio de un naufragio. Hoy día, cualquier prospección o excavación submarina requiere la participación de un nutrido grupo de especialistas. De hecho, las recomendaciones de la UNESCO así lo aconsejan, señalando los requisitos mínimos en este tipo de intervenciones. Por nuestra experiencia, el equipo de arqueología submarina debe estar compuesto por un *equipo científico*, en el que figurarán, arqueólogos, historiadores, ingenieros navales, biólogos, geólogos, geofísicos, restauradores, topógrafos, dibujantes y fotógrafos; y un segundo equipo de náutica y buceo, compuesto por el jefe de operaciones, buceadores profesionales de apoyo, mecánicos, patronos de embarcaciones y marineros coordinados para conseguir los objetivos marcados por el equipo científico.

Arqueología Subacuática y Construcción Naval

La arqueología subacuática se ha convertido en la mejor aliada de quienes estudian la construcción naval antigua. Las condiciones de conservación del medio acuático y los propios cargamentos de los barcos han permitido la

conservación de naves de todas las épocas construidas en madera. Pequeños mercantes fenicios como los de la Playa de la Isla en Mazarrón, griegos como el *Kyrenia*, púnicos como el de *Marsala*, supercargueros de más de treinta metros de eslora como la *Madrague de Giens*, barcos vikingos como los de Roskilde, naves de guerra como el *Mary Rose* o el *Wassa* o galeones españoles como el *Nuestra Señora de Guadalupe* o el *San Diego*.

Gracias a estos barcos y a otros, menos numerosos, aunque no por ello menos interesantes, excavados en tierra firme, la arqueología actual conoce con detalle cómo fueron construidos los barcos antiguos, cómo fueron diseñados, con qué tipos de madera se construyeron, cómo se procedió a su estiba o cómo se ensamblaron sus maderas.

La base para desarrollar este tipo de investigaciones sobre construcción naval antigua a partir de los restos arqueológicos está en la documentación minuciosa de las formas del casco. Bajo el agua, el arqueólogo naval debe obtener la información gráfica necesaria como para después poder reconstruir las líneas de agua, es decir las "curvas de nivel" del casco si lo cortásemos en planos paralelos y horizontales; el perfil longitudinal, que nace de la intersección del casco con planos longitudinales paralelos al eje proa-popa; y el perfil transversal, llamado también caja de cuadernas, que son secciones en el sentido de la manga.

Los principales problemas metodológicos que plantea esta reconstrucción hipotética del plano de formas del casco de un barco hundido derivan de la naturaleza misma de los yacimientos. Lo más habitual es que el barco, al naufragar, haya caído en el fondo sobre uno de sus costados. Con el paso del tiempo, el peso de toda la carga sobre este costado y el deterioro paulatino y vertiginoso que sufre la madera sumergida darán como resultado la rotura del casco por la quilla o las primeras tracas de aparadura, destruyendo el forro y las cuadernas por uniones entre las ligazones. Así, en muchas ocasiones tendremos los restos divididos en dos partes con estados de conservación distintos. Sólo la parte de madera que haya quedado sepultada bajo el cargamento o bajo la arena del fondo sobrevivirá al paso del tiempo. El peso de la carga y el deterioro de la madera provocarán importantes deformaciones en el casco del que tan sólo podremos estudiar una parte mínima de la obre viva. En este sentido, son excepcionales los barcos romanos, por ejemplo, que han conservado los baos, la borda o parte de la cubierta (únicamente *Laurons II* y *County Hall*).

La metodología de trabajo sobre los restos del casco de un barco del que ya se ha recuperado la carga comienza por la confección de una estructura a modo de cuadrícula que sirva de referencia espacial para comenzar a hacer la planimetría y para tomar referencias longitudinales y transversales de la parte interna del casco. Para ello se han diseñado distintos instrumentos como los *conformadores de cuadernas*, que permiten, mediante una estructura perpendicular al eje proa-popa con varillas de medición regulables, obtener secciones de las cuadernas y las claras del casco con rapidez y precisión.

La documentación del casco debe contemplar el estudio de los *elementos estructurales y constructivos* del casco en sentido longitudinal (quilla, sobrequilla, contraquillas, tracas del forro, palmejares, panas, carlingas, etcétera), transversal (cuadernas, varengas, ligazones y baos) y elementos verticales (puntales, pies de mástiles, etcétera). Además es imprescindible documentar los sistemas de ensamblaje de las maderas (rayo de Júpiter, lengüetas y mortajas, clavijas, clavos, pernos y cabillas de madera). Sólo así podremos conocer el sistema de construcción (sobre forro, alterno, mixto, sobre cuadernas, varenga-genol, etc.) Estos datos también nos ilustran acerca de la *arquitectura del barco*, es decir, de la forma y proporciones con las que ha sido diseñado. Así, definiremos, hipotéticamente, valores como la eslora total, la manga o el puntal, además de otros parámetros que permitan la comparación con otros barcos y que nos puedan dar una idea aproximada del comportamiento hidrodinámico del casco y su maniobrabilidad en el mar. Estos parámetros básicos son: por un lado la relación entre la manga y la eslora; y entre la manga, la eslora y el calado. Por otro lado, el coeficiente de bloque que define barcos más o menos rápidos, según se asemeje su forma en mayor o menor grado a un prisma rectangular; o el coeficiente cilíndrico que relaciona el desplazamiento del barco con la eslora y la superficie de la cuaderna maestra.

Con estos dos grupos de datos, formas del casco y relaciones y coeficientes de comparación, tendremos los elementos necesarios para extraer las primeras conclusiones sobre la hidrodinámica del barco en estudio. Conclusiones que irán encaminadas a dar una idea aproximada de los cuatro conceptos básicos de la hidrodinámica que definen las cualidades náuticas de una embarcación y que dependen, en último caso, de la forma geométrica de su casco: resistencia al avance, necesidades de propulsión, capacidad de manobra y comportamiento en el mar.

En este sentido, podemos decir que cuando un barco navega y se desplaza sobre el agua, su casco afronta de mejor o peor manera, según su forma y diseño, una serie de esfuerzos relacionados con el rozamiento, el oleaje y su propia carga que han de ser vencidos por una potencia de propulsión suficiente. Será necesario, además, vencer la resistencia al avance, debida a la viscosidad del fluido en el que se desplaza, manteniendo el navío lo menos adrizado posible y evitando al máximo la deriva en la navegación. La estabilidad del casco en este fluido vendrá determinada por la manga del barco y por la posición de su centro de gravedad. La relación entre la eslora y la manga determinará sus cualidades de estabilidad, velocidad de navegación y desplazamiento.

Para obtener resultados más fiables en la interpretación hipotética del casco de un barco hundido será necesaria la realización de un modelo a escala que pueda navegar en una canal de ensayos hidrodinámicos colocado en un carril de aceleración con control de todos los parámetros (velocidad de navegación, diferentes estados de carga, intensidad de las olas). De esta forma podremos extrapolar a la escala real conclusiones sobre la superficie vélica necesaria para mover el barco, la velocidad media de navegación en

distintos estados de carga, la estabilidad transversal y longitudinal, su comportamiento ante el oleaje, su maniobrabilidad, su comodidad a bordo o la efectividad de su timón.

Otro elemento fundamental del estudio de *la arquitectura y la construcción naval* a partir de los restos arqueológicos es el que tiene que ver con la resistencia estructural del casco de un barco. En líneas generales, la construcción de una embarcación responde siempre a unas exigencias que impone el mar a cualquier artefacto flotante que pretenda ser útil al hombre para el transporte por el agua, con independencia de su tamaño, aunque con una gran dependencia de los materiales con los que se construye.

La arqueología naval nos muestra cómo, desde el origen de la navegación, el hombre ha tenido que resolver problemas como la flotabilidad, la estanqueidad, la estabilidad o la resistencia estructural. Este último aspecto puede interpretarse fácilmente analizando con detalle los restos de un barco hundido, ya que, el casco de cualquier barco ha sido concebido para sobrevivir a los esfuerzos que sufrirá en el agua, sobre todo al navegar en el mar, y que tienden a deformar su casco: su propio peso, el peso de su carga, la presión exterior del agua y la presión del viento transmitida al casco por la arboladura.

Estudiando los distintos elementos constructivos del casco y su forma de ensamblaje, y partiendo de los presupuestos de la ingeniería naval actual, podremos conocer el grado tecnológico de quienes construyeron y diseñaron cada barco y las soluciones que propusieron para que su nave surcara el mar.

**BIBLIOGRAFÍA ESPAÑOLA COMENTADA SOBRE
CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE MATERIALES
ARQUEOLÓGICOS DE PROCEDENCIA SUBACUÁTICA**

Carmelo FERNÁNDEZ IBÁÑEZ
Museo de Palencia. Plaza del Cordón s/n, 34001 Palencia
carmelofdez@delfin.retecal.es

Introducción

La Arqueología Subacuática y la Conservación, son actividades podríamos asegurar que de muy reciente implantación en España. Ambas se desarrollaron durante la década de los años sesenta del pasado siglo XX, y se encuentran lastradas por un desfase de más de veinte años con respecto a otros países de nuestro entorno europeo.

Con todo, es indudable que la faceta arqueológica sería la que avanzase, dentro de la lentitud, de una forma más dinámica, dado que se contaba con una infraestructura que iba en progresión desde hacía tiempo, debido a la gran tradición que esta disciplina científica arrastraba, justamente al contrario de lo que ocurría con la faceta de la conservación. Ante tal panorama podemos hacernos una idea de lo tardío de la incidencia de ésta en aquella, y también de los paulatinos resultados que se fueron obteniendo.

Tal situación se ha visto claramente reflejada en la literatura sobre el tema. Ésta misma supone un barómetro inequívoco de múltiples aspectos historiográficos y científicos. En ella, se ven reflejados, tanto la evolución de los tratamientos y los conocimientos, como el nivel que poco a poco se ha ido alcanzando.

Indudablemente todo esto y mucho más puede apreciarse en la compilación que hemos realizado. Para mejorar su utilidad, hemos decidido hacer un resumen de cada ficha, agrupando su contenido por temas al final del trabajo. Hasta la fecha, únicamente están tres compilaciones bibliográficas las que recogían parte de los trabajos que aquí presentamos¹, además de algunas fichas sobre los estudios más conocidos que podían aparecer en las tradicionales compilaciones de arqueología subacuática en y de España². Por otra parte, es sintomático que el único compendio publicado con especialidad en la conservación de objetos arqueológicos de naturaleza subacuática -madera empapada-, no incluya una sola referencia a obras españolas³.

Lo cierto es que en lo que a investigación sobre conservación de objetos arqueológicos se refiere, en España nos encontramos bastante carentes de infraestructuras, lo que directamente queda reflejado para nuestro caso en la bibliografía nacional al uso. Este trabajo que hemos redactado es un ejemplo. A nivel de museos la investigación es exigua⁴. Hoy, a todo lo que significa cultura se le intenta buscar imperiosamente una rentabilidad -que indu-

dablemente debe tener- pero muchas veces sin demasiado sentido, por lo que las empresas de carácter privado⁵ suponen la solución ideal para las administraciones.

El panorama futuro que se abre ante nosotros no parece que nos traiga grandes cambios. Si bien el interés y el altruismo que siempre ha campado entre todos nosotros, son los que han mantenido siempre encendida la llama del interés por el conocimiento .

Índice de autores

A

1.- ALMORAINA GIL, M. L. (2001): “Extracción de cloruros de piezas arqueológicas metálicas recuperadas del fondo del mar”, *Boletín del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico* 35, Sevilla, 87-89.

Explicación del proceso de oxidación-reducción bajo el agua, las causas que lo motivan y los productos resultantes, en donde los cloruros tienen una especial importancia. Se realiza un pequeño repaso a cuatro de los métodos más conocidos para llevar a cabo la dechloruración.

2.- ALONSO VILLALOBOS, C. *et alii.* (1999): “Proyectos de tutela del patrimonio subacuático realizados por el Centro de Arqueología Subacuática”, *Boletín del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico* 26, Sevilla, 130-137.

Exposición mediante fichas-resumen de los ocho proyectos de investigación sobre la protección del patrimonio arqueológico del litoral andaluz que se estaban realizando en el momento de inaugurarse el Centro de Arqueología Subacuática. Entre los cuales, se encuentran dos relacionados con la conservación y titulados: “Investigación Metodológica y Técnica para la Conservación Preventiva en el Patrimonio Arqueológico Subacuático” y “Optimización del Método Electrolítico de Conservación” aplicado este último a los objetos de hierro.

3.- AMITRANO BRUNO, R. (1990): “Restauración y arqueología subacuática”, *Pátina* 4, Madrid, 2-15.

Estas notas, que nacieron a raíz de ser la parte correspondiente de un curso sobre arqueología subacuática, muestran las principales operaciones a efectuar durante el desarrollo de una determinada excavación submarina. Conservación preventiva en definitiva, para llevar a cabo en las diferentes materias (cerámica, vidrio, metales, madera...), y que no se vean afectadas con el brusco cambio que para ellas supone su extracción, y puedan llegar al laboratorio en las mejores condiciones para su posterior tratamiento.

4.- AMITRANO BRUNO, R. (1992): “Restauración y arqueología subacuática”, *Cuadernos de Arqueología Marítima* 1, Cartagena, 35-46.

Se trata de un trabajo destinado más que a profesionales de la conservación, a profesionales de la arqueología subacuática. En él se exponen la composición de las diferentes materias -tanto de origen orgánico como inorgánico -, en las que se encuentran fabricados los objetos antiguos recuperados bajo las aguas. También las alteraciones más frecuentes y sus causas, así como procedimientos para su conservación y transporte.

5.- ANTONA DEL VAL, V. *et alii* (1988): La arqueología subacuática en España, Ministerio de Cultura, Murcia.

Un apartado de trece páginas (63-76) recoge de forma resumida los diferentes aspectos del “Tratamiento y conservación de los materiales arqueológicos”. Se repasan las principales causas y motivos de alteración, criterios de extracción, fundamentos de las actuaciones de intervención, conservación preventiva y almacenamiento de todo tipo de materias, tanto orgánicas como inorgánicas, con los que se confeccionaron los objetos.

6.- ARNAU, J. *et alii*. (1997): “Metodología del Grupo de Trabajo DdG-CASC en el análisis de madera arqueológica húmeda”, *Conservació de la Fusta Arqueològica Humida* (X. NIETO y J. ARNAU eds.), Girona, s/p.

Se exponen los resultados de un trabajo de investigación, encaminado a la estabilización de la madera empapada ante la problemática que presenta esta materia. En primer lugar se analizan por diferentes técnicas la materia alterada (madera) y el producto estabilizante (PEG), como también el resultado de la unión de ambos (composite). Este último, varía en función de ciertos parámetros (peso molecular, tipo de madera...) buscando un proceso idóneo de impregnación, previo a la liofilización.

B

7.- BARRIO MARTÍN, J. (2002): “Intervenciones de conservación de una escultura de marfil del siglo XVIII de procedencia subacuática: El Niño Jesús del Ntra. Sra. de Atocha”, *Actas del XIV Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales Vol.II*, Valladolid, 697-708.

Este trabajo relata el por qué y cómo se desarrolló un tratamiento de conservación, sobre una materia como es el marfil en el que se talló un *Niño Jesús*, talla recuperada de un pecio del siglo XVIII. Tanto la materia como el ecosistema de descubrimiento, resulta en su conjunto un caso anómalo e interesante. Pero su nueva alteración fue causa de las deficientes medidas de conservación preventiva, que imperaban en la exposición itinerante que desde la República Dominicana llegó a nuestro país.

C

8.- CHAUMAT, G., RAMIERE y GINIER-GILLET, A. (1997): “Utilización de la lyophilisation sous vide pour secher des bois gorges d’eau”, *Conservació de la Fusta Arqueològica Humida* (X. NIETO y J. ARNAU eds.), Girona, s/p.

No se trata del artículo escrito a la manera convencional, mediante cuadros (dos por página) donde se incluyen a través de esquemas, dibujos e ideas la información básica, sino que se va explicando el modo, los porqués y los principios fundamentales de la impregnación mediante PEG; el ciclo de la liofilización (y funcionamiento del aparato) y sus efectos. Finaliza con el ejemplo de un tratamiento específico llevado a cabo sobre una gran piragua.

9.- CHINCHILLA, J. (2000): “La conservació dels materials. L’extracció i restauració dels materials”, *El Poblac Lacustre Neolític de la Draga. Exca-*

vacions de 1990 a 1998, Monografies del CASC 2, Girona, 35-38.

La excavación de este poblado Neolítico fue llevada a cabo fundamentalmente en tres áreas, dos en tierra inundada y una bajo el agua. En este trabajo se describen los aceptables estados de conservación, cómo se recogieron los diferentes objetos - en materia tanto orgánica como inorgánica-, que sin demasiados problemas fueron secados de forma lenta. En contadas ocasiones hubo que consolidar su estructura. Los cuidados fueron especiales para con los útiles de madera y restos de cestería, que posteriormente serían liofilizados.

G

10.- GAVIÑA DE VILLANUEVA, V. (1979): “Estado de conservación de los materiales arqueológicos procedentes de los yacimientos arqueológicos submarinos cartagineses”, *Mastia 2*, Murcia, s/p.

Pequeño artículo de contenido muy genérico, donde se expone el estado de conservación contrastado entre las ánforas romanas halladas en dos pecios. Ambas compartían la presencia de cloruros, pero las concreciones se presentaban cubriendo los recipientes cerámicos sólo en el primer yacimiento, ya que en el segundo se encontraban protegidas por la arena. Los trabajos de desalación y desconcreción se llevaron a cabo en el Centro de Investigaciones Submarinas de Cartagena.

11.- GAVIÑA DE VILLANUEVA, V. (1979): “Estado de conservación de los materiales arqueológicos procedentes de los yacimientos arqueológicos submarinos cartagineses”, *Mastia 2*, Murcia, s/p.

Pequeño artículo de contenido muy genérico, donde se expone el estado de conservación contrastado entre varias ánforas romanas halladas en dos pecios. Ambas compartían la presencia de cloruros, pero las concreciones se presentaban cubriendo los recipientes cerámicos sólo en el primer yacimiento, ya que en el segundo se encontraban protegidas por la arena. Los trabajos de desalación y desconcreción se llevaron a cabo en el Centro de Investigaciones Submarinas de Cartagena.

12.- GIANFROTTA, P. A. (1999): “La arqueología subacuática en Italia”, *Boletín del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico 26*, Sevilla, 144-149.

Vista general del estado en que se encontraba la arqueología subacuática en el país italiano a finales del siglo XX, a través de los siete importantes puntos de vista que la experiencia del autor acertadamente consideró. Uno de ellos es el de la “Conservación”, que unido al de la “Tutela” expresan claramente la problemática generalizada, ya no solamente en la consolidación de la madera empapada, sino en la política de no extracción de barco alguno dadas las grandes dificultades que hoy en día existen para su conservación fuera del agua.

13.- GÓMEZ-GIL AIZPURÚA, C. y SIERRA MÉNDEZ, J. L. (1996): “Extracción y tratamientos del barco fenicio (Barco – I) de la playa de la isla (Puerto de Mazarrón, Mazarrón)”, *Cuadernos de Arqueología Marítima 4*, Cartagena, 217-225.

El hallazgo de los restos de una embarcación fenicia de gran importancia debido a su exclusividad, promovió de inmediato su excavación y la extracción-tratamiento de ella, de la cual aún se conservaba: quilla, cuadernas, tracas... en excelente estado. Mediante un molde-cama de silicona y contramolde de poliéster, se pro-

cedió a su extracción en dos grandes bloques en contenedores de acero, izados hasta la superficie mediante globos. Se describen finalmente los primeros pasos dados en su tratamiento estabilizador.

14.- GÓMEZ-GIL AIZPURÚA, C. y SIERRA MÉNDEZ, J. L. (1996): “Construcción de un sistema de tratamiento térmico para la conservación de los restos del barco fenicio de Mazarrón”, *Cuadernos de Arqueología Marítima* 4, Cartagena, 245-249.

Se exponen las principales causas y efectos de alteración en la madera sumergida, por parte de agentes de carácter biótico; macro y microorganismos marinos. A partir de lo cual se describe brevemente el aparato diseñado en el Centro Nacional de Arqueología Marítima de Cartagena, que es utilizado con el fin de impedir el desarrollo microbiano, y controlar las condiciones físico-químicas del líquido de inmersión. Inclusive puede servir como impregnador de PEG.

15.- GONZÁLEZ PENA, M^a. L. y RUIZ RIBERO, P. (1982): “Tratamiento realizado para la conservación y restauración de ochenta y ocho piezas de plomo”, *Actas del IVº Congreso de Conservación de Bienes Culturales*, Madrid, 173-177.

Descripción sumaria, estados de conservación y también descripción del tratamiento, aplicado a un numeroso grupo de objetos de plomo con incrustaciones de materia orgánica, carbonatos de cobre y plomo así como óxidos. Se emplea el método Caley, que se basa en la transformación y disolución de los productos de alteración por medio de la utilización de ácidos y bases. Finalmente les fue aplicado a estos objetos una película de protección.

16.- GÓMEZ VIZCAÍNO, A. (1997): “Recuperación y restauración de los cañones del Farallón (La Manga, Cartagena)”, *Actas del XXIV Congreso Nacional de Arqueología*, Vol. 5 (Comunicaciones Libres), Cartagena, 39-42.

Escueto informe de la limpieza de dos de los tres cañones de hierro recuperados hace años del lecho marino. Pese a la buena intención, personas sin conocimientos profesionales llevaron a cabo un trabajo de limpieza exclusivamente mecánico, lógicamente tan falto de sentido como inapropiado. Casos como este no deberían repetirse, puesto que se logra un efecto completamente opuesto al buscado.

17.- GONZÁLEZ PENA, M^a. L. y SANZ NÁJERA, M^a (1996): “La conservación de los materiales arqueológicos en medios marinos”, *La Construcción Naval y la Navegación. Actas del Ier Simposio de Historia de las Técnicas*, Santander, 355-363.

Visión general y resumida de los problemas alteración-conservación, en las materias que componen los diferentes objetos antiguos que han sido recuperados del fondo marino. A las características del agua (marina fundamentalmente), le sigue la composición de cada materia, el tipo y la forma de las degradaciones, y los últimos métodos para su estabilización en tierra.

H

18.- HAMILTON, D. L. (2003): “Conservación de madera que haya estado sumergida en agua (Parte I^a)”, *Protecma* 18, Zarautz, 8-12.

Primero de dos trabajos dedicados a las descripciones tanto de la alteración como a la explicación de los sistemas conocidos por la madera sumergida. El autor mantiene que antes de tratar una madera han de conocerse de qué tipo se trata (tipo de árbol, dureza...), para saber sus características y prever su comportamiento. Se describen finalmente de forma pormenorizada dos procedimientos de impregnación, como son el PEG y la sacarosa.

19.- HOFFMANN, P., PÉREZ DE ANDRÉS, C., SIERRA MÉNDEZ, J. L., RAMIERE, R., TRAN, Q. K., y WEBER, U. M. (1994): "European inter-laboratory study on the conservation of waterlogged wood with sucrose", *Proceedings of the 5th ICOM Group on wet organic Archeological Materials Conference, I.C.O.M.*, Bremerhaven. 309-335.

Se presentan el desarrollo y las conclusiones a las que llegaron el grupo internacional de investigadores, que pertenecientes a laboratorios especializados de varios países europeos se dedicaron durante algunos años a desarrollar un nuevo tratamiento alternativo a base de sacarosa, para la estabilización de la madera empapada mediante PEG.

20.- HUG, B. (2000): "Primeres restauracions d'eines de fusta", *El Poblado Lacustre Neolítico de la Draga. Excavacions de 1990 a 1998, Monografies del CASC 2*, Girona, 38-42.

Es un diario del tratamiento de seis objetos neolíticos de madera y fibra vegetal extraídos del lago de Bañolas. Tras la exposición de los pasos seguidos desde la excavación hasta su llegada al centro suizo de Neuchâtel, se describen las fases para su liofilización: congelación y secado, finalizando el proceso la aplicación de una película protectora.

I

21.- IZAGUIRRE LACOSTE, M. y NAYA GARMENIA, L. M^a. (2001): "D.3.5.1. Pecio "Los Relojes". Bahía de La Concha (Donosita-San Sebastián)", *Arkeoikuska 00*, Vitoria, 429-441.

Este artículo trata de una actuación eminentemente de conservación preventiva. Este pecio (ss.XVI-XVIII) normalmente estaba cubierto por un túmulo de piedras que constituyó su lastre, protegiendo los restos de madera de su armazón. Las artes para la recolección de algas estaban arrasando el maderamen. Para su protección se vertió grava con granulometría y composición diferentes al del lastre. Tras las inspecciones regulares que se hicieron, se comprobó la necesidad de verter otra capa pétreo que cimentase mejor la anterior.

J

22.- JOVER I ARMENGOL, A. (1989): "Conservació i restauració dels objectes arqueològics", *Excavacions Arqueològiques a Cala Culip - I*, Girona, 45-55.

Este trabajo supone el tratamiento más extenso (en cuanto a materias se refiere) que posee la bibliografía española. A los aspectos introductorios en cuanto a formas y tipos de alteración (generales y específicos), tanto en materias orgánicas como inorgánicas, se adiciona la explicación de los tratamientos llevados a cabo. Productos,

problemáticas y soluciones son explicados por materias, dadas las alteraciones producidas en el fondo del mar en los diferentes objetos hallados en este pecio romano.

23.- JOVER, A. (1992): “Conservació del vaisell les Sorres X”, Les Sorres X. Un Vaisell Medieval al Camp Olímpic de Rem. Castelldefels, Baix Llobregat, *Memòries d'Intervencions Arqueològiques a Catalunya 1*, Generalitat de Catalunya, Barcelona, 57-61.

Este artículo forma parte de una monografía, que recoge la memoria de excavación y el estudio de esta embarcación medieval. Está basado en el estado de conservación de la madera que formaba su estructura, y las descripciones tanto de la forma en que fue extraída como del tratamiento por impregnación de PEG. En el momento de la redacción no estaba aún finalizado. Destaca la descripción de los materiales que conforman el gran recipiente (cuba) donde fue llevado a cabo el tratamiento estabilizador por impregnación.

24.- JOVER ARMENGOL, A. y PUJOL I HAMELINK, M. (1992): “La barca medieval del Canal de Piragüismo. Un testimonio arqueológico excepcional”, *El canal de Piragüisme. El Parc de la Draga i l'actuació Urbana de Banyoles per als Jocs Olímpics*, Generalitat de Catalunya, Barcelona, 65-67.

Escueto informe sobre el descubrimiento del casco de una barca bajomedieval (ss XIV-XV) en el canal de Piragüismo de Barcelona, de singular importancia histórica debido a la exclusividad del hallazgo. Se relacionan en este escrito los diferentes pasos para su extracción por piezas individuales, previamente documentadas. Se adelanta el proyecto del tratamiento mediante PEG a temperatura ambiente.

25.- JOVER I ARMENGOL, A. (1992): “Aplicación del PEG a la Madera procedente de Culip IV”, *Cuadernos de Arqueología Marítima 1*, Cartagena, 57-62.

Informe en el que se exponen las principales causas de alteración en general de la madera empapada bajo el agua y por la deshidratación una vez es extraída. Se explican las cuatro fases fundamentales en su tratamiento de estabilización química y estructural, tras ser extraídas del fondo marino mediante la experiencia desarrollada en la excavación del pecio de Culip IV (Girona): limpieza, toma de datos y desalación e impregnación con PEG en caliente.

26.- JOVER I ARMENGOL, A. (1992): “Tratamientos de conservación de materiales arqueológicos subacuáticos”, *Ciclo de Conferencias de Arqueología Subacuática*, Vigo, 51-53.

Resumen de la conferencia, cuyo texto muy sencillo y escueto hace repaso a los principales agentes de alteración y conservación que inciden sobre las distintas materias de que están constituidos los objetos recuperados en el fondo del mar, entre los que figura como principal catalizador, el agua.

27.- JOVER, A. (1992): “Tratamiento y conservación de maderas: el ejemplo de Cala Culip”, *Ciencias, Metodologías y Técnicas Aplicadas a la Arqueología* (I. RODÀ ed.), Fundación La Caixa, Barcelona, 261-269.

El tratamiento más eficaz para la conservación de la madera empapada y su estabilidad dimensional, se describe en sus diferentes pasos en base a los trabajos llevados a cabo en los objetos extraídos del pecio romano de Cala Culip. La impregnación en caliente con PEG y posterior liofilización es la base primordial, al susti-

tuir aquel producto el agua embebida. En un principio se da la explicación del por qué el agua deteriora la madera.

28.- JOVER I ARMENGOL, A. (1993): “Extracción y tratamiento de objetos arqueológicos subacuáticos”, *Arqueología y Conservación* (C. FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, L. CASTRO PÉREZ y F. PÉREZ LOSADA eds.), Xinzó de Limia, 73-85.

La alteración de las diferentes materias, en especial de la madera empapada y su tratamiento de conservación mediante PEG en caliente. Estas facetas se van desarrollando en el artículo a través de un par de claros ejemplos, como son los restos de sendos pecios en Cala Cupil VI, barco romano del siglo I d.C. y Les Sorres X del siglo XIV d.C. Se completa la información con el tratamiento de un fragmento de madera procedente de un yacimiento en tierra del Paleolítico Medio.

29.- JOVER ARMENGOL, A. (1994): “La conservación de la madera empapada de la barca Les Sorres X, Castelldefels (Baix Llobregat)”, *Xº Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales*, Cuenca, 59-67.

Excavación, extracción y tratamiento de consolidación de la estructura lúnea de una barcaza del siglo XIV. Mediante aspersores se evitó en todo momento la pérdida de humedad mientras se extraía de la arena, en un lugar ya desecado. Los 575 objetos de madera fueron tratados durante tres años con PEG 4000 en caliente, una vez se hubo fabricado una cubeta a medida. El tratamiento resultó satisfactorio y no se percibió merma alguna. Tan sólo restaba su montaje.

30.- JOVER I ARMENGOL, A. (1997): “Experiencias del CASC en la localización, extracción y conservación del material arqueológico”, *Conservació de la Fusta Arqueològica Humida* (X. NIETO y J. ARNAU eds.), Girona, s/p.

Tres fueron las experiencias de conservación llevadas a cabo hasta entonces por el CASC, con respecto a la madera empapada que fue hallada durante sus intervenciones arqueológicas. Se trataba de los pecios de Cala Culip IV y VI, y en la barcaza medieval de Castelldefels. Son tres ejemplos perfectos de actuaciones diferentes. Tratamientos mediante impregnación de PEG en caliente, conservación *in situ* sin extracción, y la extracción completa de una embarcación con tratamiento posterior con PEG 4000 para su posterior montaje y exposición.

31.- JOVER, A. (1998): “La conservació y restauració del material arqueològic”, *Excavacions Arqueològiques Subacuàtiques a Cala Culip 2* (X. NIETO y X. RAURICH eds.), Girona, 30-31.

Breve informe sobre el estado de conservación en que presentaban tanto la madera, como alguna cerámica hallada en este pecio del siglo XIV d.C. Los restos de la embarcación fueron conservados *in situ* (debidamente protegidos), y sólo se trataron con PEG pequeños objetos pertenecientes a la tripulación. La cerámica recuperada fue desconcrecionada mediante EDTA y posteriormente desalada.

L

32.- LÓPEZ MARCOS, M. A. (1987): “Los condicionantes de la corrosión en los metales sumergidos”, *Pátina 2*, Madrid, 30-37.

Artículo que recoge y expone de forma general, aunque con cierto grado de profundidad, los procesos que rigen bajo el agua los fenómenos de la oxidación de los diferentes metales. Por lo tanto analiza la principal causa de alteración de la materia metálica. Es una introducción completa a estos fenómenos submarinos.

33.- LÓPEZ DE ROMA, A. (1986): “Conservación y tratamiento de maderas extraídas de un medio subacuático”, *La Madera en la Conservación y Restauración del Patrimonio Cultural*, Ministerio de Cultura, Madrid, 13-30.

Pormenorizado escrito donde se describe cada uno de los diferentes componentes de la madera, sus propiedades y características. Así como todo tipo de alteraciones y de qué forma se ve afectada, sobre todo en lo que al agua se refiere. La última parte de este documentado trabajo ahonda en las consolidaciones, protectores y en general, las técnicas de tratamiento más efectivas y adecuadas, donde el PEG y más específicamente la liofilización fue desde entonces lo más adecuado para su conservación.

34.- LÓPEZ DE ROMA, A. (1997): “Transformació de les fustes empapades d'aigua. Identificació anatòmica”, *Conservació de la Fusta Arqueològica Humida* (X. NIETO y J. ARNAU eds.), Girona, s/p.

Concienzudo estudio sobre la madera en el cual se pueden diferenciar dos partes. La primera es un tratamiento a fondo sobre lo que es esta materia en sí y su constitución físico-química. La última, las características que adquiere y la diferencian cuando se encuentra sumergida; y sus alteraciones de procedencia tanto externa como interna.

M

35.- MARTÍN BAÑO, C. y ZAMBRANO, L. C. (1995): “Conservación preventiva. Actuaciones desarrolladas en el proyecto arqueológico “Nave Fenicia” de Mazarrón”, *Cuadernos de Arqueología Marítima 3*, Cartagena, 187-199.

Supone el informe de todos los pasos efectuados en el yacimiento submarino de Mazarrón, y en todo lo que concierne a la conservación del gran volumen de fragmentos recuperados durante la Iª campaña de prospecciones; unos siete mil. Se detalla mediante las fichas utilizadas, ilustraciones y texto el control de los hallazgos desde la recuperación hasta los procesos de desalación. Es un tratamiento ordenado y en masa de la totalidad de los objetos, buscando -y consiguiendo- la máxima eficacia en cuanto al volumen y efectividad de los procesos, en el menor tiempo posible. Coadyuvando rigor y eficacia.

36.- MARTÍN BUENO, M. (1989): *Costa da Morte: atopámo-la historia*, Xunta de Galicia, A Coruña.

Libro-catálogo de la exposición del mismo nombre, que sirvió para publicar la excavación de un pecio del siglo XVI d.C. así como el estudio de los materiales. No falta el capítulo dedicado a describir los tratamientos de limpieza y estabilización de los objetos recuperados (pp.43-49), entre los que había madera, metales (hierro, aleación de cobre...) y entre ellos cien monedas, piedra, etc. a los cuales se aplican tratamientos de impregnación, así como químicos y electrolíticos.

37.- MARTÍN BUENO, M. (1993): “La arqueología subacuática en Euro-

pa: Museos y centros de investigación”, IIº Curso de Arqueología Subacuática (S. MARTÍNEZ LILLO y J. BLÁNQUEZ PÉREZ eds.), Madrid, 171-189.

Revisión a nivel europeo del momento en que se encontraba la investigación a través de los diferentes centros especializados de tratamiento y exposición en Francia, Alemania, Dinamarca, Suecia, Noruega, Italia e Inglaterra y los proyectos que éstos han desarrollado y llevado a efecto. Se centra en la conservación de los barcos, cada lugar con sus ejemplos concretos, y por ende, en la estabilización fuera del agua de la madera empapada por medio de PEG, celulosa, etc. Cada uno con su experiencia concreta.

38.- MARTÍN BUENO, M. y AMARÉ, J. (1993): “Tratamiento y conservación”, *La Nave de Cavoli y la Arqueología Subacuática en Cerdeña, Monografías Arqueológicas 37*, Zaragoza, 67-75.

Fundamentalmente son dos las materias sobre las que trata este apartado de la monografía; el hierro y la madera empapada. Sobre ambas se dan unas nociones generales de los procesos de alteración que sufren, y más específicamente bajo el agua. Para seguidamente analizar el estado de conservación de los objetos aparecidos en Cavoli, describir el proceso de conservación *in situ*, y teorizar sobre el tratamiento a seguir en el caso de la madera a base de un crioprotector (PEG), seguido de una liofilización.

39.- MARTÍNEZ DÍAZ, B. y TOLEDO BASAL, E. (1993): “Moldes de silicona para piezas de madera procedentes de barcos sumergidos”, *Home-naje a D. Raúl Amitrano, Pátina 6*, Madrid, 183-198.

Durante la excavación del pecio romano de Grum de Sal (Ibiza) se llevaron a cabo una serie de experiencias de moldeo subacuático empleando silicona con y sin carga, cuyo catalizador fue mezclado a diferentes concentraciones. La finalidad era buscar una alternativa a la extracción de la madera, cuando por cualquier circunstancia no fuese recomendable o no pudiese ser extraída, sin renunciar a la información de tipo histórico o técnico que pudiese aportar. De tal manera que fuese posible realizar moldeados que una vez en positivo fueran quienes transportasen a tierra la información, sin alterar el original que quedaba protegido en el fondo marino.

40.- MEDINA, L. *et alii*. (1990): “Tratamiento ánfora Dressel-20 (y II)”, *Pátina 4*, Madrid, 45-55.

Continuación del tratamiento cuya primera parte fue publicada con anterioridad (véase es este trabajo: VV.AA. “Alteraciones sufridas en conjunto cerámico Tipo Dressel 20...”). Si bien aquél era un análisis del estado de conservación de este objeto cerámico, ahora se describe el tratamiento en sí. Constó éste de fijación..., engasado, limpieza, desalación, secado... Esta pieza presentaba una problemática en cuanto a la desalación se refiere, ya que tras ser extraída del mar su secado se realizó de forma incontrolada, lo que produjo serios problemas a la hora de acometer la disolución de las sales cristalizadas en su interior.

41.- MEUCI, C., GALLARDO, M., y GONZÁLEZ LÓPEZ, M^a. J. (1999): “Plan de usos del Centro de Arqueología Subacuática (CAS) del IAPH”, *Boletín del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico 26*, Sevilla, 110-115.

De forma resumida, se describe la configuración y los fines del Centro de Arque-

ología Subacuática (CAS) de la Comunidad Autónoma de Andalucía, creado para documentar, proteger, investigar y conservar los restos arqueológicos subacuáticos. Se detalla sucintamente la composición del Departamento de Conservación y su área de talleres: restauración, electrolisis, liofilización, almacenes, etc. con todos sus diferentes componentes.

42.- MEUCI, C. (2002): “Pecios subacuáticos y conservación. De la excavación al proyecto de restauración”, *Arqueología. Restauración y Conservación. La Conservación y Restauración Hoy* (L. MASETTI BITELLI ed.), Editorial Nerea, Hondarribia, 37-51.

Esta ponencia, que forma parte del libro de actas de una reunión científica celebrada en Italia, trata de resumir cuál es el momento y los criterios que imperan en aquel país en torno a la conservación de pecios. Toda recuperación que sea imprescindible necesitará de un proyecto previo. El efecto de todo esto se intenta demostrar en base al ejemplo de extracción de una barca en Herculano. Aunque Italia es un país que lleva buen número de años desarrollando este tipo de actividades, entre otras cosas también por los años de dedicación e investigación sobre la estabilización de la madera, España comparte con él la falta de un centro especializado y una coordinación real en cada proyecto.

43.- MICHEL, C. (1997): “Applications de traitements au PEG et restauration de deux embarcations gallo-romaines exhumées à Yverdon-les-Bains”, *Conservació de la Fusta Arqueològica Humida* (X. NIETO y J. ARNAU eds.), Girona, s/p.

Detallado informe sobre los diferentes pasos dados en y para la conservación y estabilización de dos embarcaciones de madera halladas en 1971 y 1984 en Suiza, y tratadas mediante PEG de gran peso molecular (4000 y 6000) en el centro de Lausanne. La aplicación del producto fue por aspersión en un caso y por inmersión en el otro, con resultados más satisfactorios en este último. En todos los sentidos es el cotejo y los resultados de dos formas diferentes de llevar a cabo un complicado tratamiento.

44.- MONTES BERNÁRDEZ R. (1978): “Consideraciones sobre la restauración de piezas procedentes de excavaciones arqueológicas submarinas. La cerámica”, *Boletín de la Asociación Española de Amigos de la Arqueología 10*, Madrid, 46-47.

Breve artículo donde se expone de manera muy sucinta y abreviada en exceso, la problemática de la conservación y la restauración de la cerámica de procedencia subacuática. Los puntos fundamentales que propone son la desconcreción, desalación, consolidación y reconstrucción.

N

45.- NEGUERUELA, I. *et alii.* (1999): “Proyecto museológico para la construcción de la nueva sede del Museo Nacional de Arqueología Marítima y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Subacuáticas (MNAM-CNIS). Cartagena”, *Cuadernos de Arqueología Marítima 5*, Cartagena, 9-50.

Este proyecto contempla en su apartado “D.- El Interior del Edificio”, subapartado III, la instalación de dos laboratorios: Restauración y Química. El primero de ellos, en íntima relación y colaboración laboral con el otro, cuenta con secciones

para el tratamiento de la cerámica, metales, almacén de productos, sala frigorífica, Rayos X y almacenamiento.

46.- NIETO PRIETO, F. J. (1984): *Introducción a la arqueología subacuática*, Editorial Cymys, Barcelona, 113-125.

Esta pequeña pero concentrada, bien realizada y ya clásica obra de la bibliografía española, dedica el final de su capítulo IV a la conservación. En concreto la materia tratada es la madera empapada, una explicación sobre su alteración y las causas, así como la relación de los tratamientos más usados (PEG, Rayos Gamma, Cromo...) describiendo cada uno de ellos así como a los pecios más conocidos y también su modo de rescate.

P

47.- PÉREZ DE ANDRÉS, C. (1988): *Conservación de materiales arqueológicos subacuáticos*, Museo Nacional de Arqueología Marítima, Ministerio de Cultura (texto + 6 diapositivas), Cartagena.

Breve texto donde se narra que las materias de que están compuestos los objetos hallados bajo el agua y de cuya recuperación se encarga la arqueología subacuática, han alcanzado un equilibrio con el medio que las rodea, y que por ese motivo, han llegado hasta nosotros. No sin antes haber sufrido una serie de alteraciones diferentes según se trate de cerámica, vidrio, metales... que una vez en tierra han de ser tratados de forma conveniente. No obstante es muy frecuente hallar materias orgánicas como la madera, cuyo descubrimiento en tierra no es nada normal. Se completa con una explicación de cada diapositiva y un corto glosario.

48.- PÉREZ DE ANDRÉS, C. (1989): “Arqueología subacuática y conservación”, *Revista de Arqueología* 93, Madrid, 50-55.

Este artículo de carácter general aborda íntegramente, la problemática de los hallazgos tanto muebles (objetos) como inmuebles (barcos) que aparecen bajo el mar, y cuyo medio acuático ha conservado en unos casos y los ha destruido en otros. Explica en qué radica la problemática de su extracción y sobre todo de su conservación, ya que son variadas las materias constitutivas que se recuperan bajo el agua. Mediante ejemplos, clarifica algunos modelos de salvamento o procedimientos de conservación *in situ*.

49.- PÉREZ DE ANDRÉS, C. (1989): “La madera empapada. Su conservación”, *Revista de Arqueología* 93, Madrid, 56-59.

Artículo monográfico en el cual se expone de forma abreviada y en dos bloques, primeramente las principales causas y efectos de la alteración de la madera, que durante siglos ha permanecido en el ecosistema agua. En segundo lugar, la descripción de los fundamentos de la estabilización estructural a base de tres diferentes tipos de tratamiento conocidos (PEG, R. Gamma y Liofilización), en realidad los que han proporcionado mejores resultados.

50.- PÉREZ DE ANDRÉS, C. (1991): “El proyecto de conservación de maderas del Museo Nacional de Arqueología Marítima de Cartagena”, *Actas VIIº Congreso de Conservación de Bienes Culturales*, Vitoria, 178-186.

A principios de los años ochenta del pasado siglo, la arqueología subacuática en España tomó un nuevo rumbo. La creación del Museo Nacional de Arqueología

Marítima de Cartagena y su Centro de Investigación, trajo consigo la instalación del primer laboratorio especializado. También fue necesario formar a un grupo de profesionales que por entonces no había. Esta comunicación por lo tanto, resume aquellos primeros años, pero desde el punto de vista de la conservación, el primer instrumental, así como las primeras experiencias, investigaciones y proyectos.

51.- PÉREZ DE ANDRÉS, C. (1992): “Tratamientos de conservación para madera empapada en agua”, *Cuadernos de Arqueología Marítima 1*, Madrid, 47-56.

Artículo monográfico donde se detallan aparte de la composición y propiedades, las alteraciones de la madera hallada bajo el agua. A una historiografía sobre las diferentes investigaciones desarrolladas para su difícil estabilización, le sigue la descripción en fichas de los ocho tratamientos más empleados, y los que han proporcionado mejores resultados. Se adjunta bibliografía específica.

52.- PÉREZ DE ANDRÉS, C. (1992): “La conservación de madera procedente de medios subacuáticos y el proyecto de conservación de madera del Museo Nacional de Arqueología Marítima de Cartagena”, *Ias Jornadas de Arqueología Subacuática en Asturias*, Oviedo, 11-28.

Después de la creación del Museo de Cartagena–Centro Nacional de Investigaciones Subacuáticas y como parte fundamental, se elaboró un proyecto, análisis y proyecto de investigación en torno a la madera saturada de agua. Teniendo como base principal de operaciones, un laboratorio de Conservación y Restauración especializado, alguna de cuya maquinaria se cita: liofilizador, frigorífico, densímetro... A las características de la madera y sus problemas de conservación, fundamentalmente bajo el agua, brevemente se describen los tratamientos que hasta entonces se venían empleando. Finalmente se explica el fundamento del proyecto europeo “Sucrose” donde el laboratorio colaboraba por parte española.

53.- PÉREZ DE ANDRÉS, C. (1992): “La investigación en conservación. Reseau Européen de Laboratoire: Sucrose”, *Política Científica 34*, Madrid, 22-26.

Debido a la dificultad que supone conseguir los medios necesarios por su carestía económica, varios laboratorios europeos (Francia, Alemania, Suiza y España) de otros tantos centros museísticos, abordaron conjuntamente un proyecto de investigación como alternativa a los convencionales tratamientos llevados a cabo por medio de PEG en la estabilización de la madera empapada. Así nació el proyecto “Sucrose”, cuya base era la utilización de la sacarosa (azúcar) como producto de estabilización dimensional. Los primeros resultados no fueron satisfactorios.

54.- PÉREZ DE ANDRÉS, C. (1992): “Conservación de materiales arqueológicos de procedencia subacuática”, *Conservación del Patrimonio Arqueológico Submarino. Ias Jornadas de Arqueología Subacuática en Asturias*, Universidad de Oviedo, Oviedo, 91-99.

De las materias que forman los objetos hallados bajo el agua, los de constitución orgánica (que contienen carbono) suelen ser frecuentes de hallar, y su conservación difícil de conseguir una vez los extraemos. Su composición y alteración sirve de preámbulo para hacer un repaso breve sobre los métodos de estabilización (liofili-

zación, PEG), como también se hizo lo propio para la materia inorgánica, dándose las recomendaciones más idóneas para su conservación preventiva en cuanto a la luz, H.R., temperatura, ecosistemas, almacenamiento, etc.

55.- PÉREZ DE ANDRÉS, C. (1993): “El proyecto de conservación de madera arqueológica saturada de agua del Museo Nacional de Arqueología Marítima de Cartagena”, *IIº Curso de Arqueología Subacuática* (S. MARTÍNEZ LILLO y J. BLÁNQUEZ PÉREZ eds.), Madrid, 145-161.

Con la creación del Centro Nacional de Investigaciones Subacuáticas, se acometieron varios proyectos siendo uno de los más perentorios el de la estabilización de la madera empapada. A tal efecto, se acondicionó un laboratorio para los tratamientos, equipándolo con el material necesario. Junto a las experiencias e investigaciones desarrolladas, contribuyó como parte española al proyecto europeo “Sucrose”, que junto a laboratorios de otros intentaban desarrollar un producto alternativo al PEG como estabilizador dimensional de la madera empapada.

56.- PÉREZ DE ANDRÉS, C. (1993): “Conservación de materiales orgánicos y arquitectura naval”, *Cuadernos de Arqueología Marítima 2*, Cartagena, 109-130.

Se relacionan las características tanto compositivas como de alteración de las materias de origen orgánico, así como los procesos de degradación que sufren en el fondo del mar. También los sistemas de conservación cuando son extraídos, en campo y laboratorio, y brevemente los tratamientos de liofilización y sacarosa. Al final se relacionan por años los avances más significativos, en base a tratamientos de los pecios de mayor importancia científica.

57.- PÉREZ GUERRA, J. y BOUZAS ABAD, A. (1997): “Tratamiento de restauración aplicado a una caja de clavos y otras piezas de hierro halladas en el galeón español Nuestra Señora de Guadalupe”, *La Aventura del Guadalupe*, Editorial Lunweg, Barcelona, 46-47.

Breve informe donde se detallan los pasos dados en el tratamiento de conservación, aplicado a varias piezas de hierro extraídas del pecio, por su interés histórico y arqueológico. De entre ellas destaca una caja de madera cuyo contenido era un gran conjunto de clavos.

R

58.- RAMIÉRE, R. (1993): “El centro para el estudio y tratamiento de la madera empapada de agua de Grenoble”, *Cuadernos de Arqueología Marítima 2*, Cartagena, 97-108.

Se trata de un trabajo que fundamentalmente intentó ser la puesta en evidencia del momento, y las circunstancias de los trabajos y las investigaciones en aquellos años. Aborda brevemente la historiografía de la experimentación, y se detiene explícitamente en los tratamientos a base de PEG. La descripción de este producto y los fundamentos de su acción estabilizante, llevan definitivamente al autor a la base y esencia del trabajo como es la liofilización y a la radiación gamma. Ambos procesos eran llevados a cabo en el centro de Grenoble del cual se habla, y de los cuales se describen los cuatro trabajos que considera más importantes y que ilustran mejor lo explicado: Charavines, Chamalieres, Cognac y Toulon.

59.- RIPOLL PERELLÓ, E. (1960-1961): “Un método para la conservación de maderas halladas en yacimientos arqueológicos submarinos”, *Ampurias XXII-XXIII*, Barcelona, 313-314.

Éste es el primer trabajo publicado del que se tiene constancia en España relacionado con la conservación de objetos sumergidos. Trata de exponer un problema que a finales de los años cincuenta del siglo XX en algunos países europeos (Suiza, Francia, Italia) ya eran conscientes de él, y en este caso concreto, la estabilidad de la madera empapada tras su extracción. Y precisamente de eso mismo es de lo que versa este artículo. Expone los cinco pasos necesarios para la estabilización, según las experiencias realizadas por M. E. Vogt y presentadas en la IVª Conferencia Internacional del ICOM celebrada en Suiza el año 1956.

S

60.- SANZ NÁJERA, Mª. S. (1982): “Conservación y restauración de trece defensas de elefante, procedentes de medio marino. Consideraciones metodológicas”, *Actas del IIIer Congreso de Conservación de Bienes Culturales*, Madrid, 135-138.

Prescripción del tratamiento de conservación llevado a cabo en objetos de marfil extraídos hacía tiempo del fondo marino, en un endeble estado de conservación. Éste se basó fundamentalmente en la limpieza y consolidación, ya que no se consideró viable su desalación. Se dan toda una serie de preceptos para la extracción, tratamientos y conservación del marfil procedente del mar (empapado).

61.- SARABIA ROGINA, P. (1988-1989): “Dos pipas y dos cañones procedentes de la mar”, *Anuario del Instituto de Estudios Marítimos “Juan de la Cosa” VII*, Santander, 149-166.

Se trata de un trabajo dividido en dos partes, siendo la primera el estudio histórico de dos pipas de arcilla de época moderna (ss.XVII-XIX), y el tratamiento de conservación de dos cañones la segunda; los cuatro objetos proceden de la bahía de Santander. De estos últimos hemos de desestimar el tratamiento realizado, ya que pese a la buena voluntad, se llevaron a cabo siguiendo prescripciones bibliográficas y no una experiencia profesional, lo que abocó en unas medidas ineficaces por incertadas.

62.- SIERRA MÉNDEZ, 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*, Cartagena, 51-57.

Se ofrecen los primeros resultados de los experimentos de estabilización por liofilizador, con vistas al tratamiento integral de los restos del maderamen recuperado en el pecio fenicio de Mazarrón. Este trabajo forma parte a su vez del proyecto ARKE, que dentro del programa europeo Rafael, el C.N.I.A.S. integrado en el M.N.A.M. de Cartagena, llevó a cabo con otros centros de varios países. Con el fin de desarrollar mejores técnicas y un más completo conocimiento de la madera empapada y su tratamiento de estabilización.

63.- SIERRA, J. L. (2001): “Tratamientos de conservación de la madera arqueológica empapada de agua en el Centro Nacional de Investigaciones

Arqueológicas Submarinas: últimos trabajos”, *Cursos sobre el Patrimonio Histórico* 5, Reinos, 205-220.

Completo recorrido en unas páginas, desde la composición de la madera hasta su alteración; particularmente bajo el agua; los diferentes tipos de tratamientos y sus resultados desde los más antiguos, obsoletos e ineficaces (Aceite, Glicerina) hasta los que probablemente hoy masivamente se utilizan, dada su eficacia (Liofilización). Finalmente se exponen los últimos proyectos que lleva a cabo el Centro Nacional de Investigaciones Subacuáticas de Cartagena, en lo que a los barcos fenicios de Mazarrón se refiere.

64.- SIERRA MÉNDEZ, J. L. y GÓMEZ-GIL AIZPURÚA, C. (1995): “Protección de madera tratada con sacarosa”, *Cuadernos de Arqueología Marítima* 3, Cartagena, 181-186.

Exposición de los primeros resultados obtenidos en la consolidación de maderas empapadas mediante sacarosa, en las tres muestras tratadas en y por el Centro Nacional de Investigaciones Submarinas de Cartagena. El cual, junto a otros cuatro centros europeos, desarrollan este programa de investigación a nivel europeo. La experimentación no fue positiva, ya que es necesario aplicar una nueva protección frente a los agentes atmosféricos (variaciones de H.R. y Tª). Para ello se describen tres métodos (Paraloid, A.P.V. y Microcristalina) de próxima investigación.

65.- SIERRA MÉNDEZ, J. L. y GÓMEZ-GIL AIZPURÚA, C. (1999): “Adquisición de un liofilizador para el estudio y tratamiento de maderas arqueológicas saturadas de agua”, *Cuadernos de Arqueología Marítima* 5, Cartagena, 211-216.

Se describen las diferentes partes que componen el liofilizador adquirido por el Museo Nacional de Arqueología Marítima y diseñado por dicho centro y la empresa encargada de su fabricación, a partir de la necesidad generada no sólo por el trabajo diario, sino como lugar de pruebas donde experimentar el futuro tratamiento estabilizador por medio de ceras polietilenglicólicas, de la estructura del barco fenicio de Mazarrón.

U

66.- URTEAGA, M. (2000): “D.3.1.2. Puerto romano de Tadeo Murgía (Irún)”, *Arkeoikuska* 99, Vitoria, 375-378.

La excavación llevada a cabo en la calle Tadeo Murgía de Irún resultó extremadamente fructífera en todos los sentidos. Se trataba de una instalación portuaria romana de la segunda mitad del siglo I d.C. Cerámica, hueso, metal... y objetos orgánicos como cuero, semillas y madera que se han conservado debido a las condiciones de extrema humedad del relleno. Las diferentes partes en madera que formaban parte del muelle, se extrajeron y se conservaron dentro de agua en contenedores. Con otras que no fue posible extraer, para lo cual se hicieron moldeados, o fueron conservadas en húmedo en el yacimiento.

V

67.- VV.AA. (1987): “Alteraciones sufridas en conjunto cerámico Tipo Dressel 20 procedente del medio marino y los efectos resultantes de un cam-

bio ambiental”, *Pátina 2*, Madrid, 43-49.

Descripción pormenorizada y muy profunda del estado de conservación de un ánfora procedente de Ibiza. Presentaba concreciones calcáreas de Briosos y Anélidos así como exfoliaciones, desgastes y un alto porcentaje de mineralización salina. El artículo se basa en la reflexión y búsqueda de las causas de aparición de las alteraciones.

68.- VENDRELL, M. y MOLERA, J. (1998): “Estudi arqueomètric de la càrrega de ceràmiques de Culip VI”, *Excavacions Arqueològiques Subaquàtiques a cala Culip.2* (X. NIETO y X. RAURICH eds.), Girona, 239-252.

A la vez que se ha estudiado la composición mineralógica de la cerámica recuperada en el pecio, también se ha estudiado un fenómeno de cambio cromático en las pastas y una alteración de tipo estructural -y también cromático- en los vidriados. El motivo último es la actividad microbiana (aeróbica y anaeróbica), debido a los microambientes del ecosistema suelo que en la capa de Posidonia han tenido lugar, debido a la escasa profundidad a la que tuvo lugar el hundimiento.

Z

69.- ZAMBRANO VALDIVIA, L. C. (2000): “Moldeo subacuático de objetos arqueológicos”, *Boletín del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico* 32, Sevilla, 175-182.

Se explica pormenorizadamente “un método normalizado de moldeo subacuático aplicable al registro arqueológico...”, a base de un molde flexible de silicona y un soporte rígido de poliéster. El método es innovador y se encuentra patentado. El moldeo subacuático permite obtener información complementaria de los objetos o partes de éstos, que por necesidades de su conservación no puedan (o no deban) ser extraídos; también, como soporte rígido a la hora de elevar a tierra materias frágiles.

70.- ZAMBRANO VALDIVIA, L. C. (2002): “Mantenimiento preventivo de objetos arqueológicos”, *La Protección del Patrimonio Arqueológico Contra el Expolio*, Junta de Andalucía, Sevilla, 45-60.

Mediante fichas visuales de amplio, conciso y resumido texto acompañado con prácticos dibujos, se ofrece una docena de las recomendaciones más urgentes a tener en cuenta, con vistas a la conservación y el transporte de los objetos arqueológicos en los yacimientos. Se hacen expresas referencias a los que se extraen del lecho marino.

71.- ZAMBRANO VALDIVIA, L. C., ARELLANO GAÑÁN, I., GÓMEZ BRAVO, M., MIÑANOS DOMÍNGUEZ, A. I. y PINEDO REYES, J. (1992): “La conservación de los materiales silíceos procedentes de la I campaña de la Carta Arqueológica Subacuática del litoral de Murcia”, *II^{as} Jornadas de Arqueología Subacuática en Asturias*, Oviedo, 29-35.

La cerámica es una materia muy abundante en cualquier yacimiento, y como cualquier otra, se encuentra afectada de cierto tipo de ineludibles alteraciones tanto físico-químicas como biológicas que aquí son explicadas. El gran número de objetos que fue recuperado en estas intervenciones submarinas realizadas en la zona de

Cartagena-Escombreras, fueron objeto de pertinentes tratamientos de conservación: desconcreción/limpieza, desalación, secado, consolidación, etc.

72.- ZAMBRANO VALDIVIA, L. C. y BETHENCOURT, NÚÑEZ, M. (2001): “Conservación y registro arqueológico en el yacimiento submarino Bucentaure II de La Caleta, Cádiz”, *Boletín del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico* 36, Sevilla, 83-90.

Se explica el desarrollo de un sistema de desconcreción y control de la corrosión en objetos de hierro sumergidos, y sin necesidad de su extracción. Mediante los valores proporcionados por un peachímetro y un electrodo Ag/AgCl que mensura potenciales de corrosión (E_{corr}), se pretende valorar la potencialidad corrosiva del entorno inmediato al objeto. Los datos obtenidos se trasladan al diagrama de Pourbaix. Se lleva a cabo una experiencia con un cañón del yacimiento gaditano de Bucenture II.

73.- _____, (1999): “D.2.5.2. Avance de excavación del Pecio del s.XV de Urbieta (Gernika)”, *Arkeoikuska* 98, Vitoria, 392-398.

Durante el seguimiento de unas obras junto a la ría de Gernika y en un lugar que constituía parte de su antiguo cauce, a cuatro metros de profundidad apareció la estructura en madera de un barco fechable en el siglo XV. Este breve informe recoge el sistema empleado para su recuperación y traslado en un vehículo especial, hasta su provisional lugar de almacenamiento. Encofrado el armazón de madera y parte de su relleno inferior de barro, una estructura metálica de asentamiento sirvió de soporte para su arranque y transporte.

Índice temático

Análítica de materias constituyentes: 67 – 68.

Centros de tratamiento e investigación: 41 – 48 – 50 – 56 – 58.

Cobre y aleaciones: 3 – 4 – 20 – 26.

Conservación preventiva: 2 – 3 – 4 – 7 – 12 – 13 – 14 – 17 – 21 – 23 – 28 – 30 – 31 – 35 – 37 – 38 – 43 – 48 – 50 – 54 – 56 – 63 – 69 – 70 – 72 – 73.

Cerámica: 3 – 4 – 9 – 11 – 17 – 22 – 28 – 30 – 35 – 40 – 44 – 67 – 68 – 71.

Descripción de tratamientos: 1 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10 – 13 – 15 – 18 – 19 – 20 – 22 – 23 – 24 – 25 – 27 – 28 – 29 – 30 – 35 – 40 – 43 – 44 – 47 – 49 – 50 – 51 – 52 – 57 – 58 – 59 – 60 – 61 – 63 – 64 – 71.

- Estaño: 3 – 4.

- Estudios y análisis de alteraciones: 14 – 31 – 32 – 34 – 36 – 51 – 56 – 67 – 68 – 71.

- Generales: 1 – 4 – 5 – 11 – 12 – 17 – 26 – 28 – 43 – 48 – 49 – 55 – 57 – 58 – 71.

- Hierro: 1 – 2 – 3 – 4 – 10 – 17 – 22 – 33 – 38 – 43 – 57 – 61 – 72.

- Historiografía: 37 – 43 – 46 – 48 – 50 – 51 – 52 – 53 – 55 – 56 – 58.

- Hueso y marfil: 4 – 7 – 9 – 17 – 60.

- Investigación: 6 – 19 – 39 – 40 – 43 – 52 – 53 – 62 – 64 – 68 – 72.

- Madera: 3 - 4 - 5 - 6 - 8 - 9 - 10 - 12 - 14 - 17 - 18 - 19 - 20 - 21 - 22 - 23 - 24 - 25 - 27 - 28 - 29 - 30 - 33 - 34 - 36 - 37 - 39 - 42 - 43 - 46 - 47 - 49 - 50 - 51 - 52 - 53 - 55 - 56 - 57 - 58 - 59 - 62 - 63 - 64 - 65 - 66 - 69 - 73.
- Maquinaria para tratamientos: 8 - 14 - 22 - 23 - 27 - 28 - 41 - 45 - 50 - 52 - 53 - 62 - 65.
- Moldeados y reproducciones: 13 - 22 - 39 - 42 - 63 - 66 - 69.
- Otras materias de origen vegetal (cuerda, piel, cuero...): 3 - 10 - 17 - 20 - 56 - 66 - 69.
- Oro: 3 - 4.
- Piedra: 3 - 4 - 17.
- Plata: 3 - 4.
- Productos: 6 - 13 - 17 - 18 - 19 - 22 - 23 - 27 - 39 - 43 - 49 - 51 - 53 - 56 - 58 - 62 - 64 - 69.
- Propuestas de conservación: 4 - 27 - 33 - 39 - 58 - 64 - 70 - 72.
- Proyectos de intervención: 33.
- Plomo y aleaciones: 3 - 4 - 15 - 26.
- Tratamientos "in situ": 2 - 3 - 4 - 9 - 10 - 13 - 17 - 22 - 24 - 29 - 30 - 35 - 39 - 42 - 48 - 54 - 63 - 66 - 69 - 73.
- Vidrio: 3 - 4 - 17 - 47.

**PANORAMA DEL MUSEO NACIONAL DE ARQUEOLOGÍA
MARÍTIMA Y CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES
ARQUEOLÓGICAS SUBACUÁTICAS (CARTAGENA)**

Iván NEGUERUELA
Director

Los coordinadores de este Libro me piden que esboce un panorama general de la vida y de las actividades del Museo Centro. Así, en vez de centrarme en tal o cual aspecto de nuestros trabajos, procuraremos hacer un a modo de vuelo sobre los principales aspectos de la vida de la Institución, con la esperanza de que sea de alguna utilidad a quienes se interesen por ello.

I. Breve historia administrativa. Las tres etapas de la vida del Museo-Centro

I.1). Primera Etapa. El Patronato de Excavaciones Arqueológicas Submarinas de la Provincia Marítima de Cartagena (1970-1981) y el Centro de Arqueología Submarina de Cartagena (1973-1981)

A lo largo de la década de los años 60 del s. XX, se producen en el litoral de la Provincia de Murcia una serie de hallazgos subacuáticos por parte, principalmente, de buzos aficionados y de la Armada. Ello motiva que, en 1970, la Dirección General de Bellas Artes, del Ministerio de Educación y Ciencia, cree el “Patronato de Excavaciones Arqueológicas Submarinas de la provincia Marítima de Cartagena”, el remoto origen de lo que andando el tiempo sería el Museo-Centro. Que no se trataba de un caso aislado en Cartagena, lo demuestra palmariamente el hecho de que, en el mismo año, el Ministerio creaba también idénticos Patronatos en Baleares, en Gerona y en Ceuta, hasta un total de cuatro, con lo que pretendía sentar las bases de la arqueología marítima española. Puede uno legítimamente preguntarse por qué se eligieron esos puntos de nuestro litoral mientras se dejaban en blanco zonas tan extensas como todo el Mediterráneo comprendido entre Gerona y Cartagena, todo el litoral andaluz, y todo el norte de España. En todos los casos se debió a que el Ministerio quiso comenzar a trabajar no con un diseño racional, sino aprovechando los sitios en los que ya preexistía algún tipo de actividad y de equipos humanos.



El CNIAS

Aquel Patronato necesitaba de unas instalaciones fijas y de una infraestructura, siquiera mínima, de laboratorios, lo que se producirá tres años después con la creación del “CENTRO DE ARQUEOLOGÍA SUBMARINA DE CARTAGENA”, como brazo ejecutor del Patronato. Se instaló en un viejo pabellón de la Armada, conocido como “El Lazareto”, sito en el Dique de Navidad. En 1982, el Ministerio derribaría este Lazareto y en su mismo solar edificaría el actual edificio del CNIAS. La Dirección del Centro recayó en don Julio Mas García, funcionario local de Cartagena, que mantenía muy buenas relaciones personales con la Armada, elemento fundamental en la vida de la ciudad en aquellas décadas, gracias a lo cual pudo disponer no sólo de inmejorables fuentes de información, sino de muchos medios técnicos y humanos.



El Museo

I.2). Segunda Etapa. Museo Nacional de Arqueología Marítima y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Subacuáticas: 1980-2003

a). *La creación del Museo y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Subacuáticas: 1980-1982.* Una década después, en 1980, con la llegada de la Democracia, el Ministerio decide asumir directamente el control de la arqueología en el mar, como ya lo tenía en la de tierra, toda vez que el antiguo Patronato estaba controlado por el Ministerio de Defensa a través de la Armada. A tal fin, crea por O.M. 14469 de 9 de Junio de 1980 (BOE del 5 de Julio), el “MUSEO Y CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES ARQUEOLÓGICAS SUBACUÁTICAS”. Dada su brevedad, reproducimos la totalidad de la Orden:

“Las especiales circunstancias que concurren en las prospecciones y excavaciones arqueológicas submarinas, debido a las específicas técnicas de aplicación que impone el medio en el que se practican y los problemas derivados del tratamiento, restauración y conservación de los materiales arqueológicos recuperados del fondo del mar, como asimismo su inventario, valoración y estudio aconsejan la creación de una Institución que se reponsabilice de la dirección y coordinación de los estudios programados por la Dirección General del Patrimonio Artístico, Archivos y Museos en esta materia.

En su virtud, y a propuesta de la Dirección General del Patrimonio Artístico, Archivos y Museos este Ministerio ha resuelto:

Primero: Se crea el Museo y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas en Cartagena (Murcia).

Segundo: El Museo y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas dependerá de la Dirección General del Patrimonio Artís-

tico, Archivos y Museos a través de la Subdirección General de Arqueología, a efectos científicos.

Tercero: Las instalaciones museográficas y la conservación de sus correspondientes Secciones dependerán de la misma Dirección General a través de su Subdirección General de Museos, quedando integrado en el Patronato Nacional de Museos”.

Como se ve, no existe ni una sola mención a la existencia o actividades del viejo Patronato. Todo en esta Orden da la impresión de que se pretende partir desde cero. Es cierto que el Ministerio no tenía en Cartagena personal de su competencia. El hasta entonces Director venía de otro Organismo del Estado, y no pertenecía a ninguno de los Cuerpos Facultativos de Cultura. En cuanto al resto del personal técnico era, sencillamente, inexistente.

Así, el Ministerio comienza la construcción de un nuevo edificio, en el lugar del antiguo Patronato, dotado de suficientes despachos, de Biblioteca, de laboratorios de fotografía y de restauración, de almacenes, etc. Este nuevo edificio será hasta hoy la sede del C.N.I.A.S. (Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas).

b) *La inauguración del nuevo Museo-Centro Nacional: 1982.* El nuevo Museo y Centro, dotado ya con su nueva sede, se inaugura en 1982, todavía dirigido por don Julio Mas. Desde la Subdirección General de Arqueología, que detentaba entonces don Manuel Martín Bueno, se organiza en Cartagena el VI Congreso Internacional de Arqueología Submarina¹, con abundante presencia internacional. Así, aquel año de 1982 supone la verdadera creación del Centro: inauguración oficial de la Institución, inauguración del nuevo edificio, y celebración del VI Congreso Internacional.

c) *Integración del nuevo Museo en el conjunto de los Museos Nacionales: 1983-2003.* En 1983, el Ministerio cesa a don Julio Mas y dota al Museo con una plaza del Cuerpo Facultativo de Conservadores, cuya primera directora será Alicia Rodero. Y al mismo tiempo, decide dar un nombre específico al Museo y ampliar su campo de actuación, lo que hará mediate la O.M. 11344 de 23 de Febrero de 1983 ”por la que se dispone que el Museo Nacional de Cartagena pase a denominarse Museo Nacional de Arqueología Marítima”. De nuevo, por su interés, reproducimos el texto de la Orden:

“Por O. M. de (...) fue creado el Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas...

Actualmente se considera oportuna una denominación específica para el Museo creado conjuntamente con el citado Centro, más acorde con su contenido, ya que sus fondos, se constituirán con la totalidad de materiales vinculados a las actividades arqueológicas en el ámbito marítimo, tanto los procedentes de las prospecciones y excavaciones practicadas en el fondo del mar, como los recuperados en superficie -piezas de arquitectura naval, etc- o por aquellos documentos o reproducciones relacionadas con las antiguas rutas marítimas.

En su virtud (...) ha resuelto:

1. El Museo Nacional creado por O. M. de 9 de Julio de 1980 en Cartagena se denominará “Museo Nacional de Arqueología Marítima”.

2. Las instalaciones Museográficas del mismo y la conservación de sus correspondientes secciones seguirán dependiendo de la D. G. de Bellas Artes y Archivos a través de la Subdirección General de Museos, conservando su integración en el Patronato Nacional de Museos.

3. El Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas, creado por la citada O. M , con sede en el Museo, continuará con la denominación y dependencias establecidas en la mencionada Disposición de 9 de Julio de 1980.

Madrid 25 de Febrero de 1983”.

Así pues, el Museo-Centro Nacional es, desde su creación en 1980, el vehículo legal del Ministerio de Educación y Cultura para ejercitar su acción en este campo.

I. 3). *Tercera Etapa. La construcción de la nueva sede del Museo-Centro: 2002-¿2004?*

En 1992, la Junta de Obras del Puerto de Cartagena, hoy Autoridad Portuaria, cumpliendo unas directrices generales del Ministerio de Fomento para todos los Puertos del Estado, decide dismantelar los tinglados del puerto y devolver esos terrenos a la Ciudad, que había estado privada de acceso directo al mar desde que aquellos terrenos se ganaron al agua a finales del s. XIX. En la enorme extensión resultante, la misma Junta de Obras del Puerto decide donar una parcela al Ministerio de Cultura para la construcción de una nueva sede para el Museo-Centro. Es decir, que en su origen no se trató de una necesidad resuelta a iniciativa del Ministerio de Cultura, sino de un ofrecimiento de la citada J.O.P.

Se trataba de una necesidad imperiosa habida cuenta de que la sede actual tiene las siguientes carencias: i) La falta de espacio para las funciones básicas. No caben piezas, (p.e.: el submarino Peral, que mide 22 m de eslora, el barco fenicio de Mazarrón-2, que tan solo mide 8 m), los laboratorios que hay son muy pequeños, no hay sala de exposiciones temporales, ni sala para actividades didácticas, etc. ii). La falta de personal. No hay ninguna persona en secretaría, ni buceadores, ni bibliotecarios, ni restauradores, ni fotógrafos, etc., funciones todas ellas mínimas. Pero aún cuando se dotase de plantilla, no hay sitio para las personas y iii) Su mala ubicación para la visita del público. A cuatro km. del punto más cercano de la ciudad, por una carretera militar en pésimo estado y peligrosa, dentro de zona militar. Las razones i) y ii) son sustantivas. La iii) es adjetiva y podría haberse resuelto remodelando la carretera de acceso.

Pero desde nuestra perspectiva, la construcción del nuevo Museo no tiene que ver únicamente con una simple falta de espacios o de personal, sino que se enmarca en unos procesos más complejos que afectan a la esencia misma de estas Instituciones a lo largo y ancho de toda Europa, y a los cambios que se han ido produciendo en España desde la creación del Museo-Centro actual en 1980-1982 pues se han alterado y mutado muchas cosas, de modo que se impone una adaptación al presente, y, sobre todo, al futuro. Por su importancia, seleccionamos solamente tres: i) Las transferencias de Cultura a las

Autonomías. ii) La vertiginosa transformación de la arqueología marítima, pero especialmente la subacuática, en estos 20 años. Se ha pasado de una actividad embrionaria sin regulación ni procedimientos standard, al nacimiento de una disciplina nueva con alto grado de complejidad y sofisticación. Y iii) La Ley de Patrimonio de 1985 y la Convención de UNESCO de 1997-2001.

Dichos factores son de tanta trascendencia que si nos limitamos a construir un nuevo edificio, perpetuaríamos para siempre lo que en otro lugar (NEGUERUELA-1994) he denominado la 2ª etapa de la vida de los museos², sin posibilidad de dar nunca el salto a la 3ª definida por parámetros que afectan a: instalaciones, personal, recursos económicos, objetivos y campo de acción definidos, e incardinación plena en la sociedad.

El cambio espectacular de sede; el cambio radical que supone la plantilla propuesta para el nuevo Museo; los cambios producidos tanto en la Legislación de Patrimonio como Autonómica; la Convención de UNESCO de 1997-2001; las nuevas tecnologías altamente sofisticadas; el rigor de las prospecciones y excavaciones actuales; los nuevos tratamientos de restauración y de conservación; la nueva globalización internacional en la que el museo actual está intensamente inmerso; en fin, todo, convierten a la obra a inaugurar en una nueva Institución, directamente heredera de la actual, pero distinta de ella. Por todo ello, nuestra lucha desde hace varios años (y bien conocida en el Ministerio, aun a riesgo de poner repetidamente en juego la paciencia de mis compañeros y la comprensión de mis superiores) consiste en que no se trate de un proceso similar al de la ampliación de varias salas de un Museo preexistente, en que lo único que se muta es la ampliación del espacio, por hermoso que sea el nuevo edificio. Es dar nacimiento a una nueva cosa partiendo directísimamente de lo actual. La nueva institución redefine actividades, campo de acción y objetivos, por otros mucho más amplios y por mucha más capacidad de acción. Posiblemente, su creación llevará aparejada la de un patronato; y todo ello, a su vez, la de un reglamento, todo lo cual alterará en gran medida el actual sistema de funcionamiento. Y ello debería afectar, incluso, al nombre: fue creado en 1980 como “Museo y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas”. Poco después, como hemos visto, se emitió una O.M. para dar nombre específico al Museo, y pasó a denominarse “Museo Nacional de Arqueología Marítima y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas”. En exceso definidor, largo y poco práctico. De tal modo que, en la línea del “Museo Arqueológico Nacional”, podría pasar a denominarse algo parecido a “Museo Marítimo Nacional”.

Así pues, durante 1994 y 1995, nos ocupamos en dar forma a aquel ofrecimiento de solares de la Junta de Obras del Puerto, que contemplaba un Museo de 2.800 m. No parecía fácil, en principio, conseguir que el Ministerio optase por volcarse en Cartagena, habida cuenta de las numerosas solicitudes que recibe para que casi en cada ciudad de España se haga un nuevo Museo. Pero se produjeron una serie de factores favorables: en Octubre de 1993 habíamos iniciado el “Proyecto Nave Fenicia” para la excavación y

extracción de Mazarrón-1³, que se trasladó hasta el Museo el 30 de Junio de 1995. Así, el hecho de contar con la donación del solar, la excavación y posterior extracción de Mazarrón-1, con toda la adquisición de nuevo equipamiento que supuso, y el hallazgo de Mazarrón-2 en Marzo de 1994, fueron inclinando definitivamente la balanza del lado de la construcción de una nueva sede. Y es lo cierto que, entre 1991 y 1994, se fue aceptando en Madrid aquella donación del solar (que, sin embargo, no se haría nada por formalizar hasta muchos años después de tener el proyecto del Museo entre las manos, hacia 1999) y fue tomando cada vez más fuerza la idea de construir la nueva sede.

De este modo y como fruto inmediato, en 1995 se encargó un anteproyecto sobre 6.000 m² para el nuevo Museo⁴ al arquitecto Guillermo Vázquez Consuegra, siendo Ministra doña Carmen Alborch.

Al año siguiente, en mayo de 1996, dicho anteproyecto, fue presentado oficialmente en el Palacio de San Esteban de Murcia, la Sede de la Presidencia de la Región, ante las máximas autoridades autonómicas y ministeriales y ante la prensa. Al acto, del que se hizo cumplido eco la prensa, asisten por parte de Murcia el Presidente Valcárcel, el Vicepresidente A. Gómez Fayren, la Consejera de Cultura C. Gutiérrez Cortines, y el Director General de Cultura, M. A. Centenero. Por parte del Ministerio, el Director General de Bellas Artes B. Pendás, el Subdirector General de Museos L. Buñuel, y un arquitecto de la Dirección General, además del propio G. Vázquez Consuegra.

Podría pensarse que, a partir de ahí, no quedaba más que esperar el normal desarrollo del expediente económico-administrativo en el Ministerio. De hecho, la ministra Esperanza Aguirre, primera del nuevo cambio político que se produjo a comienzos de 1996, declaró a la prensa repetidas veces, en 1996 y 1997, que en diciembre de 1997 comenzarían las obras del nuevo Museo para estar concluidas en diciembre de 1999. Sin embargo, comenzó una larga serie de demoras y parones por parte, principalmente, de la Consejería de Cultura de Murcia: en otoño de 1996, es decir a los pocos meses de la citada presentación oficial del Proyecto, la Consejería de Cultura decide que la altura del Museo debe rebajarse en 1'30 m con el argumento de que su altura rebasa la de la muralla de Carlos III e impide su visión a quienes vengan a Cartagena desde el mar. Se les argumentó por nuestra parte que: estaba terminándose la construcción de un bar adyacente al Museo, el "Mare Nostrum" que sobrepasaba la altura de la muralla en mucho más, edificio autorizado por la última



La biblioteca del Museo Centro

administración socialista en los últimos meses de su mandato; que el Museo es un edificio no privado, ni motivado por el lucro o la especulación, sino un equipamiento cultural de primer orden para la ciudad, por lo que no parecía razonable aplicar el rasero más estrecho, si previamente no se impugnaba la construcción del citado bar; que era muy difícil aceptar que se obligase a rebajar la altura del Museo en la cifra expresada, por tratarse de un edificio ya de por sí muy bajo y alargado, de poco más de 9 m de altura con lo que ese metro de rebaje supone mucho más que si hablásemos de un edificio de, por ejemplo, 18 m; que, además, el Museo estaba destinado a acoger barcos o réplicas con sus correspondientes arboladuras; que el Museo, una vez inaugurado, pasa a tener automáticamente el rango de B.I.C. según la normativa vigente, igualado, por tanto, en consideración, a la muralla.

Todo fue inútil. Los responsables del Ministerio aducían que se trataba de una decisión de la Comunidad Autónoma. Y a nuestras reiteradas gestiones con el equipo rector de la Consejería de Cultura no se les hizo caso alguno.

Por si todo lo dicho no fuese suficiente, en otoño de 1997 la Dirección General de Cultura de Murcia autorizó la construcción de la nueva sede de la Capitanía Marítima, junto al Museo y a la misma distancia de la muralla, pero, ahora sí, ¡sobrepasando la altura de la famosa muralla en más de dos metros!. El edificio se construyó a lo largo de 1998 y 1999.

Con este argumento, estuvo retenida la concesión de la autorización de la Comunidad Autónoma desde 1996 hasta 1999. Tras las elecciones autonómicas de 1999, el nuevo equipo de la Consejería (el mismo equipo político y las mismas personas, salvo la citada Consejera) explica que quiere desbloquear el tema del Museo y que es sensible a los argumentos aquí repetidos sobre la visión de la muralla del mar. Pero, aporta que hay un nuevo tema que resolver: que el Museo ¡impide ver el agua del mar a quien quiera contemplarla desde el pretil de la muralla!

Por fin, en 1999, tras varios años de dudas, el Ministerio sacó el proyecto a concurso público, tras lo que se adjudicó a la empresa constructora “Fomento de Construcciones y Contratas”.

En marzo de 2000 entra en Murcia un tercer Consejero de Cultura (J. A. Mejías), con equipo nuevo. Desde el primer momento, el tema del Museo queda completamente desbloqueado. No vuelve a hablarse de las alturas del edificio, ni de la visión de la muralla, ni de la visión del agua del mar. El Ministerio adjudica definitivamente las obras a FCC, quien en otoño plantea la necesidad de revisar el Proyecto por problemas con la cimentación. Finalmente, en el primer semestre de 2001, el Consejo de Estado da luz verde definitiva a esta revisión del Proyecto. Las obras comienzan en noviembre de 2001.

Y por fin, el 23 de enero de 2002, tras seis años de gestiones, demoras y no pocos sinsabores, se procedió a la solemne colocación de la primera piedra. Al acto asistieron las primeras autoridades autonómicas y locales, además de la Ministra de Cultura, Pilar del Castillo, y el Ministro de Defensa, Federico Trillo.



Colocación de la Primera Piedra del futuro Museo Nacional de Arqueología Subacuática

Pero una vez solventados todo esos problemas, en julio de 2002, la empresa adjudicataria paraliza las obras debido a que han encontrado en los cimientos más agua de la que esperaban. En el momento de escribir estas páginas, enero de 2003, las obras siguen paradas. Se dice que se reanudarán hacia el mes de abril. La fecha prevista actualmente para la inauguración oscila en torno a finales del 2004.

La construcción del nuevo edificio con todos los avatares que aquí sólo hemos resumido, ha hipotecado durante los últimos 5 años muchas de las iniciativas en cuanto que gran parte de las inversiones de mejora, la creación de diversos departamentos, y muchas iniciativas nuestras han sido sistemáticamente pospuestas por Madrid hasta la creación del citado nuevo Museo.

Por nuestra parte, en 1994 entregamos al arquitecto el primer borrador del proyecto museológico. En 1997, publicamos en la Revista del Museo los planos de la nueva Sede (NEGUERUELA, 1996-a). En 1998, entregamos en el Ministerio el Proyecto Museológico (antes, por tanto, de que se sacase a concurso público) (NEGUERUELA, 1999-d). Y en 2002, hemos entregado el Proyecto Museográfico.

En todo este fárrago de problemas técnicos por parte de los ingenieros de FCC y de parones administrativos, el edificio ha ido perdiendo desde el Proyecto de 1996, una serie de unidades que le eran muy importantes. Fundamentalmente, hay que hablar de: La pérdida en metros, por reducción drástica de la superficie del edificio del Centro, de 6000 a 3800 m. La pérdida en altura, hasta enrasar su parte más alta con el pretil de la muralla. La pérdida del pozo de pruebas. La pérdida de la piscina. La pérdida de la Sala de Exposiciones temporales.

II. El personal de plantilla a lo largo de la vida del Centro

Básicamente, la estructura del personal técnico de plantilla del Museo-Centro ha sido la siguiente, periodizándola en función de la duración de los sucesivos Directores:

De 1970 a 1983: Director Julio Mas (al crearse en 1982 el Museo y Centro Nacional, es cesado por el Ministerio en 1983, al carecer de la Titulación necesaria para desempeñar el puesto).

De 1983 a 1986: Directora: Alicia Rodero. Se incorpora en primer desti-

no, tras aprobar las Oposiciones al Cuerpo Facultativo de Conservadores de Museos. A principios de 1986 pide traslado al Museo Arqueológico Nacional de Madrid. Cajero-pagador: Luis Baños. Restaurador: Carlos Gómez Gil (desde 1986). Pide traslado a Madrid en 1987.

Desde la salida de A. Rodero hasta la incorporación del siguiente Director, hay, a lo largo de muchos meses de 1986, un largo paréntesis en que el Museo-Centro está sin Director.

De 1986 a 1989: Director: Víctor Antona del Val. Se incorpora en primer destino. A principios de 1989 deja el Museo-Centro para incorporarse al Proyecto Galeón, en Cádiz, en el contexto de la Comisión para el Quinto Centenario de 1992. Cajero-pagador: Luis Baños.

Entre la marcha de Antona y la llegada de Cabrera hay casi un año de paréntesis sin Director, durante el cual las funciones las desempeña una restauradora contratada.

De 1989 a 1992: Directora: Paloma Cabrera Bonet. Se incorpora en primer destino. En diciembre de 1992 se traslada al Museo Arqueológico Nacional de Madrid. Cajero-pagador: Luis Baños. Patrón de barco: Emilio Peñuelas González. Se incorpora como Laboral Fijo a mediados de 1990.

De 1993 a hoy: Director: Iván Negueruela Martínez. Se incorpora en enero de 1993 desde la Jefatura de Departamento de A. Clásica del Museo Arqueológico Nacional de Madrid. Conservadora: M^a Angeles Pérez Bonet. Se incorpora en primer destino en febrero de 1993 (oposición de 1992). Pero llevaba trabajando en el Museo-Centro con contratos desde 1988, con Antona y Cabrera. Cajero-pagador: En enero de 1993, Luis Baños pide traslado al ISFAS, en Cartagena. Le sustituye, en junio 1993, Alfonso García Carrasco, procedente de la Autoridad Portuaria de Cartagena. Restaurador: Carlos Gómez Gil. (Se reincorpora al Museo en junio de 1993. Pide su baja definitiva del Museo en junio 1997). Patrón de barco: Emilio Peñuelas González.

Como se ve, el puesto de Restaurador lo ha detentado durante 10 años con intervalos Carlos Gómez Gil. Actualmente (enero de 2003), está vacante desde mediados de 1997.

Así mismo, a finales de los años 80 se dotó un puesto de Auxiliar Administrativo, que fue cubierto hasta 1992, en que su titular se trasladó. Hemos reclamado reiteradamente que se cubra este puesto sin éxito. En 1997, la Dirección General lo suprimió de nuestra R.P. T.

Es fácil ver que, desde la inauguración de este Museo-Centro en 1982, se ha dado una falta de continuidad en la dirección, en la administración y en los trabajos arqueológicos del Museo-Centro, especialmente señalada entre 1982 y 1993. Ello ha impedido que se disponga de una plantilla, siquiera mínima, de especialistas: fotógrafos, cámaras, restauradores, químicos, dibujantes, bibliotecarios, archiveros, arqueólogos, geógrafos, oceanógrafos, documentalistas, expertos en didáctica-difusión, administrativos (salvo el cajero-pagador), auxiliares administrativos y, sobre todo, buceadores. Esta falta de continuidad en el personal de plantilla ha producido una importante falta de "memoria histórica" en temas tan importantes como el conocimien-

to de las colecciones y de las circunstancias en las que llegaron al Museo, cómo y quienes excavaron, etc.

III. Las colecciones

III.1. El origen de las colecciones y su estructura básica

En lo que se refiere a la estructura y origen de sus colecciones, existe una primera diferencia básica entre este Museo y la mayoría de los demás Museos Nacionales o Provinciales españoles. Normalmente, en aquellos la estructura de sus colecciones es muy compleja, pues suelen tener procedencias muy variadas y desde hace muchas décadas o, incluso, desde el siglo XIX. Así, dichas colecciones pueden proceder de excavaciones precientíficas, de excavaciones científicas, de legados testamentarios, de donaciones, de adquisiciones del Estado en subastas, de requisas judiciales, etc. Por el contrario, el origen de las actuales colecciones del Museo-Centro es muy simple, sin duda alguna por la juventud de la Institución. No tenemos Legados, ni compra de colecciones en el mercado nacional o internacional, ni nada semejante. Todo proviene de las actividades que, con los avatares propios de cada director y de cada equipo ministerial, ha realizado la Institución desde su creación.

Existe un segundo e importante factor: su origen se centra, casi en exclusiva, en dos periodos: entre 1970 y 1982 y a partir de 1993. El siguiente esquema lo explica:

III.2. Las tres etapas de la vida del Centro, en cuanto al acopio de colecciones

Más arriba hemos dividido la historia de este Museo-Centro en tres etapas atendiendo a su vida administrativa. Aquí lo vamos a hacer atendiendo a la formación de sus colecciones. Veremos que no coinciden exactamente unas y otras etapas.

1. *La Primera Etapa: 1970-1982* (para el seguimiento de las actuaciones en agua en esta primera Etapa y en la Segunda: GÓMEZ BRAVO-1994. PINEDO, MIÑANO, NEGUERUELA-1994. En ambos casos con bibliografía anterior).

Hemos visto que, en 1970 la Dirección General de Bellas Artes, creó el Patronato de Excavaciones Arqueológicas Submarinas de la Provincia Marítima de Cartagena, bajo la Dirección de Julio Mas, y cómo tres años después se creó, al amparo del citado Patronato



El CNIAS

y como su directo brazo ejecutor, el Centro de Arqueología Submarina de Cartagena, directo antecesor del actual, que ya se ubica en el Dique de Navidad, donde sigue. Así mismo hemos visto cómo, en 1980, el Ministerio crea el Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas con un Museo anexo, heredando parte de las instalaciones y actividades que, desde 1970, había venido desarrollando el Patronato y construyendo otras nuevas. El Centro se inauguró en 1982. Pues bien, durante esos 13 años se habían prospectado o excavado los yacimientos de:

- . Punta de Algas (1960-1973)
- . El Capitán (1961 y 1973)
- . Prospección del Polígono submarino de Cabo Palos, desde 1970 a 1980. Se localizó una veintena de yacimientos.
- . El Pudrimel (1970-1973)
- . Las Amoladeras (1970-1973)
- . Bajo de la Campana (1958, 1979, 1988)
- . San Ferreol. Descubierta en 1976. Excavado entre 1979 y 1983

Además, se localizan y se trabaja someramente durante los años 70 en los siguientes yacimientos:

- . Bajo de Dentro (Cabo de Palos),
- . Puerto de Mazarrón
- . Dársena de Cartagena
- . Puerto de Águilas
- . Isla del Fraile (Águilas)
- . Nido del Cuervo (Águilas)

Algunos de estos yacimientos apenas aportaron materiales al Centro, pero otros, por el contrario, aportaron el grueso principal de las colecciones hasta que en 2003 se iniciase el Proyecto de las naves fenicias de Mazarrón.

2. *La Segunda Etapa. 1983-1992.* A partir de la inauguración en 1982, la Institución pasa a estar servida por el Cuerpo Facultativo de Conservadores de Museos, previo el cese de Julio Mas. Así, se suceden en la dirección Alicia Rodero, Víctor Antona del Val, Paloma Cabrera e Iván Negueruela. En 1992, se crea una plaza de Conservador que ocupa, desde 1993 hasta hoy, M^a Ángeles Pérez Bonet. Los interregnos entre Rodero y Antona y entre éste y Cabrera fueron (especialmente el segundo) muy largos, de alrededor de un año. Durante el primero, no hubo nadie al frente del Museo. Durante el segundo, estuvo al frente la Restauradora.

Entre 1983 y 1992, los trabajos realizados en agua son básicamente prospecciones. Se trabaja en puntos muy dispersos del litoral. No se acometen excavaciones sistemáticas y por tanto, el acopio de colecciones es casi insignificante. Y, en todo caso, ninguna significativa que pasase a las Salas.

- .- Trabajos de Carta Arqueológica en Canarias 1989, (MIÑANO, 1995),



Caja Fuerte a medio abrir al comienzo de la excavación

Almería, Ibiza y Valencia.

.- Vigilancia de dragados en los Puertos de Mazarrón y de Cartagena.

.- En 1987, un mes en La Barra de S. Pedro del Pinatar.

.- Un mes de prospección en la ladera norte de Escombras (1987) y otro al año siguiente (1988), en el contexto de sendos yacimientos-escuela de verano.

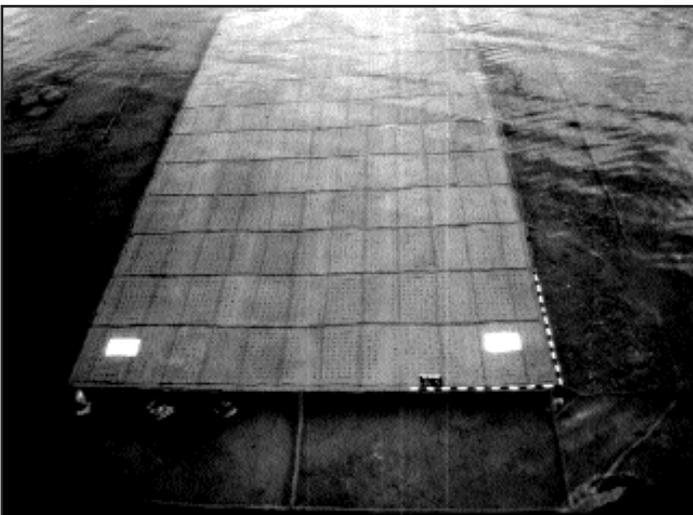
.- En 1988-89 se descubre y trabaja, aunque someramente, el pecio de Cala Reona del s. V d.C.

.- Entre 1988 y 1992, prospecciones muy cortas en Aguilas, Rambla de las Moreras de Bolnuevo, en el Bajo de la Campana, en Cueva de Lobos, la Playa de la Isla y en el Puerto de Cartagena.

3. *La Tercera Etapa. 1993-2003.*

Así pues, a nuestra incorporación en enero de 1993, la abrumadora mayoría de los materiales expuestos en las salas procedían de los trabajos realizados durante los casi 15 años de la dirección de D. J. Mas. Los materiales procedentes de los trabajos citados entre 1983 y 1992 se guardaban en cajas en el almacén.

.- Playa de la Isla de Mazarrón. En 1993, se inicia la excavación sistemática de un pecio para lo que se eligen los restos fenicios localizados 5 años antes bajo la dirección de V. Antona, en la campaña de verano de 1988, en La Playa de la Isla de Mazarrón. Entre octubre de 1993 y junio de 1995, se desarrolla el

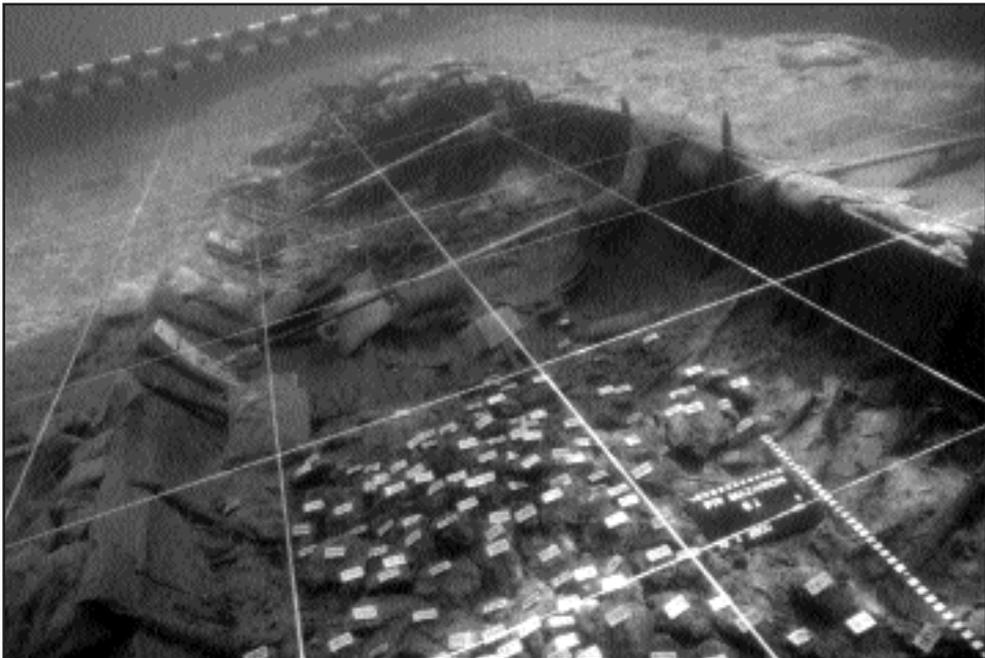


Caja fuerte instalada sobre Mazarrón-2 y cerrada

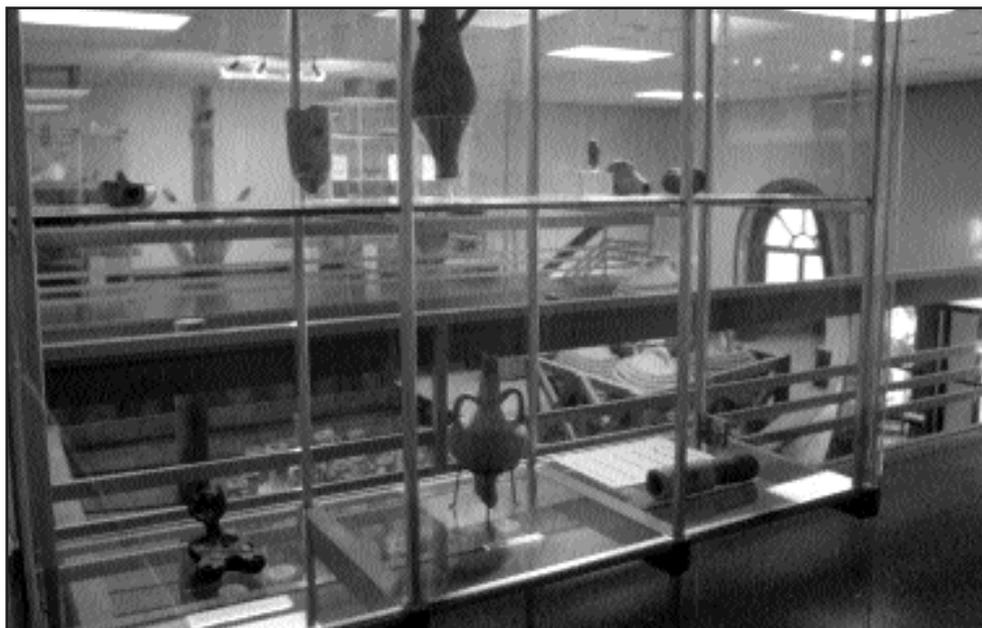
Proyecto Nave Fenicia, con la financiación de la Caja de Ahorros del Mediterráneo; se prospecta exhaustivamente la Playa de la Isla, se excava Mazarrón-1, se extrae el barco y se traslada al Museo, junto con algo más de 8.000 fragmentos cerámicos, pétreos y metálicos, en su inmensa mayoría fenicios del s. VII a. C. Desde 1993 hasta 2001, se prospectan todos los años los 72.000 m² de la Playa de la Isla de Mazarrón, campaña anual que dura hasta hoy y que no sólo ha enriquecido los fondos del Museo desde el punto de vista cuantitativo, sino sobre todo cualitativo.

En 1995, con el cambio político en el Gobierno de la Comunidad Autónoma, se modifica la política de la Consejería de Cultura y Educación de Murcia hacia el Museo-Centro, decidiéndose encargar todas las actividades en agua a empresas privadas, y dejando al Museo-Centro confinado a la campaña anual de Mazarrón. Ello sumado a la restricción de contratos de personal, y al parón, ya comentado, de las obras del nuevo Museo impone una inactividad casi completa a las actividades en agua durante varios años.

- Fragata *Beatrice* y el sarcófago de Mikerinos. Por encargo de don Luis Buñuel, Subdirector General de Museos del Ministerio, previo un acuerdo de Cultura con Defensa para colaborar con el Centro de Buceo de la Armada (C.B.A.), en los primeros meses de 1997 se prospecta la zona de la bahía de Cartagena comprendida entre Las Algamecas y el Faro de Navidad en busca de la fragata inglesa *Béatrice*, el barco que a principios del siglo XIX trans-



Mazarrón 2. Se observa, perimetralmente, las paredes verticales de la Caja Fuerte; las barras de la estructura de fotografía pintadas en negro y amarillo. Y el barco, con su cargamento preparado para el foto-mosaico. En el interior del barco, los arbotantes de sujeción contra los efectos de la presión. En el exterior, a la derecha, una de las paredes transparentes



Sala principal del Museo, desde la planta superior

portaba el sarcófago de Mikerinos hacia el Museo Británico. Para ello no se nos concedió ningún contrato, por lo que tuvimos que hacerlo el escaso personal del Museo con los del CBA. No se consiguieron los resultados esperados, pero se localizó un pecio inédito de la segunda mitad del siglo XIX: el pecio de Navidad.

- Carta arqueológica subacuática de la Región de Murcia. En 1997 se consigue la aprobación de un complejo Proyecto de Prospección del litoral al amparo del Plan Nacional I+D: “Carta Arqueológica del litoral de la Región de Murcia. I: Mazarrón”. Durante dos años (1998-1999), se prospecciona sistemáticamente un tramo de 20 km de la costa murciana, entre los 0 y los 20 m de profundidad, con el acopio de los materiales, la documentación y la metodología correspondientes. Desde marzo de 1998 hasta octubre de 2000, se bucearon en total siete millones de m² (NEGUERUELA, 1999-c, 2000-a, 2001-a), pero con escasos resultados en cuanto a la localización de yacimientos, si bien la excepción la constituye el caso del Puerto de Mazarrón, yacimiento que ya se conocía desde los años 70 por un dragado cuyos materiales habían venido al Museo, y donde hicimos una prospección metódica con documentación sistemática del fondo del Puerto y la planimetría del mismo. El resultado fue la identificación de más de 80 puntos de concentración de material púnico y romano en la reducida dársena del Puerto.

- Mazarrón-2. Sin solución de continuidad con los trabajos citados, entre octubre de 1999 y enero de 2001 se excava el segundo barco fenicio de la Playa de la Isla de Mazarrón, conocido como Mazarrón-2, para lo que el Ministerio nos concedió cuatro contratos. Se descubrió el barco práctica-

mente completo, con su cargamento dentro y con el ancla junto a la proa. Se traslada hasta el Museo-Centro todo su cargamento y su ancla, mientras que el barco, adecuadamente protegido por una Caja Fuerte, ha quedado en el fondo del mar, a la espera de lo que las autoridades de Murcia y de Madrid decidan.

- Pecio de Navidad. En enero de 2002 se hace una breve campaña de sondeo de 15 días de duración en el pecio de Navidad, del XIX. Durante el resto de 2002, la falta de contratos de técnicos buceadores ha impedido (como ya pasara entre julio de 1995 y marzo de 1998) las tareas en agua.

El resumen de estas actividades es que se han incorporado al Museo el barco fenicio de Mazarrón-1; las casi 10.000 piezas de la Playa de la Isla, en su mayoría fenicias (ánforas, pithoi, platos, cuencos de diversos tipos, cazuelas, lucernas, vasos-trípode, un escarabeo de plata, una lanza de cobre...), el cargamento completo del barco de Mazarrón-2 del siglo VII a.C. (1.800 fragmentos de lingotes de litargirio, un ánfora completa, una espuerta de esparto, un ancla, varios trozos de cabos de distintos grosores, un molino de mano...), numerosas cerámicas del Puerto de Mazarrón (desde los ss. III a.C. hasta el VII d.C.), y algunos documentos menores del pecio de Navidad.

Así pues, hasta el inicio de las excavaciones de los barcos fenicios de Mazarrón en octubre de 1993, la práctica totalidad de las excavaciones realizadas por el Museo y los principales yacimientos origen de las colecciones del mismo, fueron hechas por J. Mas. Entre 1983 y 1993, no hay ninguna excavación reseñable en la historia de las colecciones del Museo-Centro, excepción hecha de Cala Reona.

IV. Principales yacimientos

Ofrecemos, aquí, un resumen de los principales yacimientos cuyos materiales se guardan en el Centro.

1. Bajo de la Campana (MAS, 1985-a. ROLDÁN *et alii*, 1995)

Junto a Isla Grosa (Manga del Mar Menor). Nunca ha sido excavado sistemáticamente. Comenzaron a aparecer materiales en 1958. La primera “recogida” de materiales por parte del Museo-Centro se hizo en 1972. En 1979 unos buceadores donaron los colmillos de elefante que habían recuperado años antes. En 1988, el Museo-Centro hizo una segunda “prospección”. En función de ello, se han venido identificando varios pecios, fechándolos de manera diversa. El último trabajo monográfico del Bajo, que recoge la bibliografía anterior y analiza los hallazgos⁵, identifica tres pecios. Nos remitimos a él y a las fechas que allí se proponen:

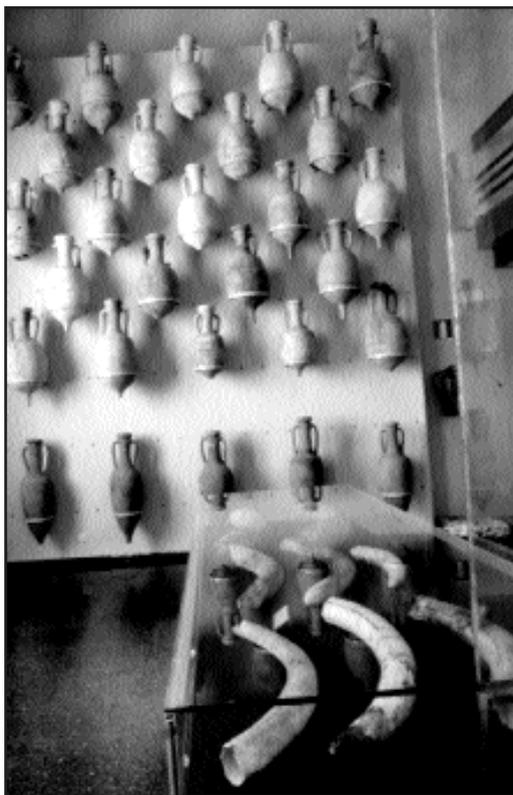
- uno fenicio datable hacia el s. VI a.C. (Bajo de la Campana-1)
- otro “púnico”, de comienzos del s. II a.C. (Bajo de la Campana-2)
- otro romano altoimperial (Bajo de la Campana-3)

-*Bajo de la Campana-1*. El barco transporta, entre su cargamento, lingotes de estaño de una gran pureza y marfil en bruto, en colmillos de elefante, que además llevan incisos, en algunos de ellos, una inscripción. El carga-

mento se completa con las cerámicas relacionadas. Del resto, nada se sabe. El hallazgo de los colmillos lo convierte en un *unicum* arqueológico en toda la cuenca mediterránea. Cargamento: - 13 colmillos de elefante africano, cuatro de los cuales tienen inscripciones fenicias. Longitudes del mayor y del menor: 99 y 30 cms.- Fragmentos de ánforas fenicias del tipo Trayamar-1.- Un ánfora completa Cintas-268.- Un cuenco carenado. - Medio mortero trípode, reconstruido. - Un mortero de pasta gris y pie anular. - Seis lingotes de estaño, en forma de casquete esférico, salvo uno, mayor, de forma oblonga.- Un ancla de piedra grande: 78 x 72 x 15 cm.- Escoria de mineral. Se viene fechando hacia la primera mitad del s. VI a.C.

-*Bajo de la Campana-2*. Se trata, como he indicado, de materiales procedentes de "recogida", no de una excavación sistemática, y además en una zona que fue sometida a voladuras con explosivos. Materiales: - ánforas, PE-17, de mediados del s. II a.C. -Un fragmento de Dressel 1-A y un fragmento casi insignificante de Mañá C.

-*Bajo de la Campana.-3*. Restos altoimperiales del s. I d.C.: Materiales: - 3 fragmentos de ánfora Dressel 7/11 -2 fragmentos pequeños de Dressel 20 y 23 -5 fragmentos de ánfora Beltrán-IVb (o Dressel 14) -6 tapaderas -1 *tegula*. Aunque el material es muy escaso e incompleto, como puede apreciarse, los tres tipos de ánforas representados coinciden cronológicamente en el siglo I d.C.



Panel de ánforas de Punta de Algas. En primer término, colmillos de El Bajo de la Campana

2. Punta de Algas. La Manga del Mar Menor (MAS, 1969-1970)

Los trabajos se iniciaron en 1959, ante el aviso de un pesacador, antes, por tanto, de la creación del Patronato. La primera campaña fue en 1960. A lo largo de la década de los 60, y hasta 1973, se hicieron varias campañas dirigidas por J. Mas con buceadores del C.B.A. Se trata de un barco que mediría unos 25 m de eslora y que iba cargado mayoritariamente con ánforas del tipo Lamboglia 2, de diversas capacidades, que además van selladas en muchos casos. En el Museo se encuentra todo el cargamento recuperado, por lo que es un conjunto uniforme, aunque no íntegro, ya que no fue extraído todo el material en su momento. A pesar de lo importante de este pecio, no se tienen datos apenas de los procesos de excavación, ni documentación de los

mismos. Se recuperaron aproximadamente 530 piezas, de las que hay que destacar:

Ánforas: - 361 ánforas del tipo Lamboglia 2, con sellos dobles impresos en la arcilla: uno de ellos es común a todas, y representa a una victoria alada inscrita en un óvalo. El segundo es un nombre propio abreviado: *SAL*. Aparecen, además, *PLATO*, *CAI*, *NICIA ABAR*, *SIRI*, *VIN*, *TREBA*, *SPE*. Tienen capacidades distintas: 36, 32 (la mayoría), 28, 26, y 17'5 litros. Muchas de ellas, se encuentran completas o casi completas. En muchos casos han conservado el cierre: un opérculo de cerámica con una pequeña asa de botón, que se instala dentro del cuello a unos 10 cm del labio. Sobre él, mortero en cuya superficie superior se imprimió el sello del expendidor de la mercancía: *L. VIBI. L. C. L. LUVVC.* -Ánforas del tipo Dressel 1B y Dressel-1A. Cerámica: -14 fragmentos de campaniense B -Un gran plato casi completo de Campaniense C, de 45'6 cm de diámetro -8 opérculos de cerámica recortada. Varios: Un mazo de carpintero en madera. Fragmentos de *tegula* y de ladrillo. Barco: -4 fragmentos de planchas de plomo del recubrimiento del casco; -2 clavos de bronce. Se extrajeron trozos de madera del casco. Le calcularon unos 25 m de eslora aproximada. Cronología: segunda mitad del siglo I a. C.

3.- *Las Amoladeras*. Cabo de Palos (MAS, 1973, MAS, 1979).

Localizado en 1960 cerca de la Playa de Levante Cabo de Palos. Se trata de un pecio muy interesante, pero del que tenemos muy poca documentación. J. Mas, en *Mastia 4-5* da los siguientes datos: "...trozos de tubería de plomo y clavos, localizando un ancla de hierro no relacionada con el yacimiento. (...) hallamos cuatro basas de molino en piedra de análogas características a las que se hallan en la vecina costa, denominada con el sugestivo de *Las Amoladeras*; fragmentos de plomo de diverso tamaño, 80 clavos de cobre procedentes de la nave, mineral de pirita procedente del cargamento, glandes o balas de plomo y un pequeño fragmento de pieza ornamental en oro, hallado en las proximidades de este mismo yacimiento"

En otro lugar, el mismo autor (MAS-1979, 120): "tuberías (*fistulae*) de diversos tamaños, codos, ensamblajes, figuras y objetos de ornamentación. Glandes para honderos en ingente cantidad, pesas, lañas de alfarero, plomos para pesca y otros objetos de uso común. Cuatro monetales de plomo. Anverso: cabeza varonil (¿Hércules?); reverso: clava que cruza la pieza diametralmente con leyenda ibérica".

La singularidad de este pecio la da el cargamento que transportaba el barco, básicamente plomo y muelas de moler. Sólo una pequeña parte de su cargamento ha sido recuperada. Los materiales proceden, como acabamos de anotar, de una prospección realizada en los años setenta, y apenas se tienen datos de ella -Cuatro partes superiores de molinos de piedra y dos inferiores. Pesas de red en plomo de diferentes formas -160 glandes de plomo. Planchas de plomo para el recubrimiento del casco de los barcos. Tres fragmentos de tubería de plomo. Cinco monetales de plomo. Además, fragmentos de ánfora Dressel 1 -Un amuleto fálico de oro, muy pequeño, y un ancla de hierro (que no parecen del pecio, según Mas).

4.- *El Capitán*. Ladera sur de la isla de Escombreras. Cartagena (MAS, 1972, p. 70). Localizado en 1961 por el Capitán de Infantería de Marina Antonio Gorordo Alvarez y excavado con el Museo Arqueológico Municipal de Cartagena que dirigía Antonio Beltrán, es la primera intervención subacuática realizada con el fin de extraer restos arqueológicos, es decir, la primera excavación 'arqueológica' en España. Se encuentra en las proximidades de Escombreras a una profundidad de unos 38-40 m. Se realizó aún con equipos de buceo clásicos y de él se recuperaron: 68 ánforas grecoitalicas Dressel I-a, casi todas completas a falta del borde y parte del cuello; 2 *tegulae*; 1 balde de cobre; 1 cepo de plomo de 50 cm; 1 pesa pétreo con asa metálica y diversos ungüentarios. Se fechó en la segunda mitad del s. II a.C.

5.- *Bajo de Dentro*, frente al promontorio de Cabo de Palos (MAS, 1979), (MAS, 1985- a). Se trata de otro pecio apenas documentado, que proporcionó diversos lingotes romanos de plomo. La primera localización fue en 1965 en que buceadores de la Armada extrajeron de este yacimiento 15 lingotes que remitieron al Museo Naval de Madrid. En 1972 y 1973 se hicieron sendas campañas de recogida de materiales, en las que se recuperaron 27 lingotes más. Sellos: *AQVINI, PLANI, SEX, MESSI, VTIVS*.

6.- *San Ferreol*. San Pedro del Pinatar, frente a Punta Playuela (MAS, J. 1985-b). Fue descubierto en 1976 y excavado entre 1979 y 1983 por el director del Museo, J. Mas. Se publicó en el VI Congreso Internacional de Arqueología Submarina. Se trata de un cargamento muy rico, de ánforas y cerámicas de mesa Campaniense B de época republicana, además de diferentes objetos de uso personal como el estuche de marfil. Se conservan también restos de algunos alimentos, como las cáscaras de las avellanas y nueces. Ánforas: Numerosísimos fragmentos (1.111) de entre los que destacan las Dressel-1B; Dressel-1C; Beltrán III, y Lamboglia-2; Campaniense: varios miles de fragmentos de Campaniense-B, y varios fragmentos de Campaniense-A; 1 plato casi completo de Campaniense-C y otros fragmentos. Paredes finas: 67, de las que sólo una está completa; varios fragmentos de jarras, ollas, platos y tapaderas de cerámica común; tres lucernas; un fragmento de plato de vidrio de *millefiore*. Varios: Un estuche de marfil y madera, con dos estuchitos de hueso. Una placa de pizarra para batir ungüentos. Avellanas y nueces. 42 bolitas azules de función desconocida; tres fragmentos de plomo muy deformados. Un fragmento pequeño de madera revestido de cobre; seis clavos de bronce; de la segunda mitad del s. I a.C.

7.- *El Pudrimel*

La Manga del Mar Menor (PASCUAL BERLANGA, 1999). En los Escullas del Pudrimel. San Pedro del Pinatar. Al menos dos pecios: quizá tres. Imposibilidad de determinar con precisión cuántos pecios hay en el yacimiento debido a la metodología de la extracción del material. Además, los cargamentos, en cualquier caso, están muy incompletos.

El Pudrimel-1. Numerosas ánforas Dressel-IA. Un ánfora Dressel-1C. Muchos fragmentos de Campaniense-A, de las formas Lamboglia 5/7, 27, 8C y 36. Seis fragmentos de Campaniense-B, de las formas Lamboglia-1, 5/7

y 10. Además, fragmentos de cerámica común de cocina y mesa, (jarras, platos-tapadera, sartén, y 33 de platos de borde bífido. Estos tres últimos de procedencia itálica). Tres vasos de paredes finas. Primera mitad del Siglo I a.C.

El Pudrimel-2. Ocho fragmentos de ánforas béticas; seis ánforas Beltrán II; una Dressel 20; una ánfora Gala 4, y otra Haltern 70. Fin del siglo I d.C.- primera mitad del II d. C. Además: de Época Republicana (fin del siglo III- primera mitad del siglo II a. C.): 5 ánforas grecoitálicas sin contexto. De Época Bajoimperial: dos épocas definidas: 150-175 y 300-625. Imposible identificar si es un fondeadero o dos pecios.

8.- *Puerto de Cartagena. Púnico*⁶

Se trata de materiales procedentes de recogidas selectivas previas a tareas de Dragado en el Puerto de Cartagena, que se realizaron en los años 80. Por ello, están completamente descontextualizadas. Pero además, no se recogieron sistemáticamente. Pueden destacarse 15 ánforas púnicas, todas fragmentadas, aunque de ellas tres conservan el cuerpo completo.

9.- *Puerto de Cartagena. Romano*

Estamos ante el mismo problema que en el punto anterior: una recogida de material, de carácter selectivo, previa al mismo dragado.

Materiales: 203 ejemplares de ánforas. Contamos con un muestrario que abarca casi todas las producciones republicanas y altoimperiales: Grecoitálicas, Dressel-1, Lamboglia-2, Dressel-7-11, Haltern 70, Beltrán II. Junto a ello hay otro mucho material, que abarca desde la República hasta el final del Imperio.

10.- *Puerto de Mazarrón. Púnico*⁷

Los materiales del Puerto de Mazarrón proceden, en su mayoría, de un dragado que se hizo en 1978. Se trata de un yacimiento de una riqueza deslumbrante por la acumulación de cerámicas en sus fondos desde lo fenicio hasta lo tardorromano, posiblemente el más prometedor de los yacimientos portuarios del sureste español gracias a que aún no ha sido dragado violentamente. A pesar de conocerse desde 1977 no ha sido objeto, aún, de un estudio sistemático. El Museo realizó una primera carta sistemática de sus fondos, aún cuando con carácter provisional, en 1999.

Materiales: fragmentos de ánfora púnico-occidentales (Mañá C _ y Mañá C2a) y púnico- ebusitanas (p. e. 17 y 18) mayoritariamente. Fragmentos de cerámica común; fragmentos de huevo de avestruz.

11.- *Puerto de Mazarrón. Romano.*

Los materiales proceden del mismo dragado realizado en los años 70. Ingresaron al Museo-Centro algo menos de 9.500 fragmentos de épocas fenicia, romana y medieval, si bien los de época romana son, con mucho –aproximadamente 9200- los más abundantes. Destacan: Ánforas de época republicana, la mayoría de producción itálica; anforas de época altoimperial, sobre todo béticas y galas; muchas datadas a partir de la segunda mitad del siglo II, y sobre todo a partir del III y hasta el VI. Muchas anforitas de pro-

ducción local de los siglos IV-V

Cerámicas: *Terra Sigillata Itálica, Gálica e Hispánica, Terra Sigillata Clara* de producción africana, sobre todo producciones A, C, y D. Cerámica común: producciones itálicas de cocina y mesa de cronología tardorrepublicana, y producciones africanas de cocina. Fragmentos de cerámica de engobe rojo del este del Mediterráneo. Cerámica lucente. Lucernas. Cerámicas de barniz negro. Cerámicas toscas tardías. Opérculos.

Vídrío: Numerosos fragmentos de vídrío no reconstruibles.

Varios: 2 punzones de hueso y 22 piezas de plomo (pesas de red, planchas, un aro y un disco con orificio central).

Como hemos dicho, en 1999 un equipo del Museo realizó una prospección sistemática en el Puerto pesquero (que no se incluye aquí) y que será publicada en los próximos meses.

12.- *Cala Reona*. (PINEDO-PÉREZ BONET, 1991)

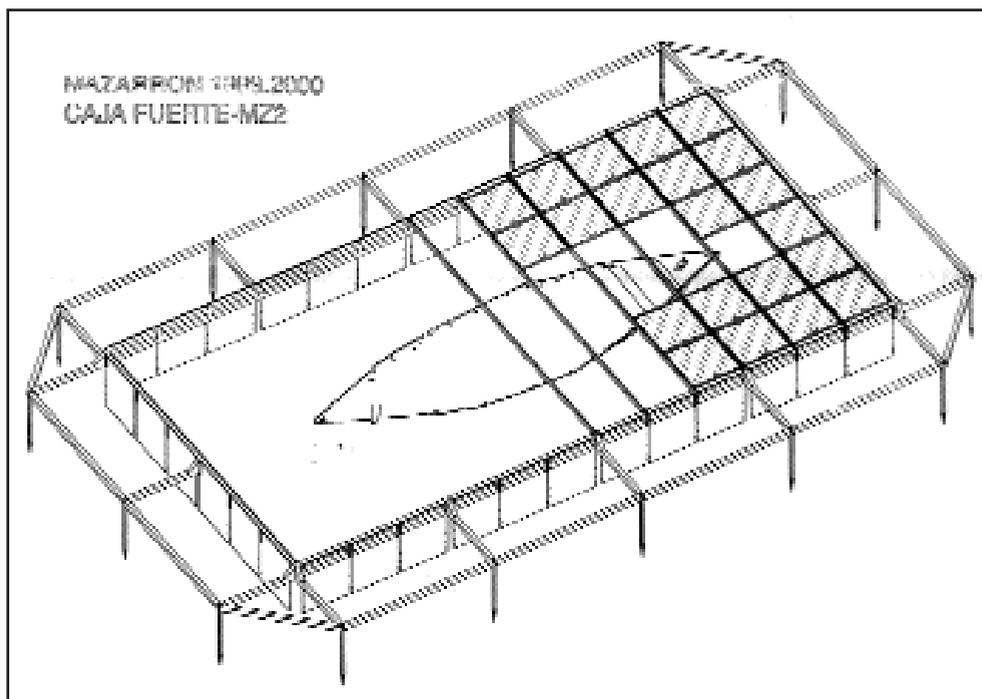
Excavación de urgencia llevada a cabo en 1990. El yacimiento estaba siendo expoliado intensamente. Se realizó una campaña breve para determinar la existencia o no de barco y su grado de expolio. Se recuperaron sólo algunos fragmentos.

Materiales: 98 fragmentos recuperados: fragmentos de madera, de las que hay piezas de tablazón del barco, 1 con espigas de madera, 2 piezas con forma de arco con rebaje, 1 con forma de cuña con fragmento de espiga y rebaje, 1 horquilla de madera, y diversos fragmentos pequeños; 3 tapones de corcho de ánfora, 1 pesa de red de cerámica, fragmentos de bordes y paredes de cerámica tosca a mano/torno lento, 1 fragmento de ladrillo, fragmentos de ánforas de los tipos CR 1 y 2 y *spatheion*, que formaban parte del cargamento del barco. Siglo V d.C.

13.- *Mazarrón. Playa de la Isla*. 1993-2002. (BARBA *et alii*-1993. NEGUERUELA *et alii*, 1993, 1995-a, b. NEGUERUELA, 1995-c, NEGUERUELA, 1999-a)

El yacimiento fue localizado en 1988 por un equipo del Museo-Centro, a través de una madera (que resultó ser la quilla de Mazarrón-1) y unos 40 frgts. de cerámica fenicia, pero no se acometió la investigación sistemática del mismo hasta 1993, en el contexto del denominado “Proyecto Nave Fenicia”, sufragado por la Caja de Ahorros del Mediterráneo y el Ministerio. Entre 1993-1995 se hizo la primera prospección de la bahía, la excavación de MZ-1 y su extracción y traslado al Museo-Centro. Entre 1996 y 2001 se ha reinspectado la bahía cada año. De octubre de 1999 a enero de 2001 se ha excavado (pero no extraído) MZ-2.

Junto a los hallazgos (los materiales de la prospección y los dos barcos), en Mazarrón se han desarrollado novedosos sistemas de arqueología marítima (prospección micro y macroespacial, excavación, moldes subacuáticos, extracción y traslado, protección, dibujo,...) y una rica documentación. Se trata de los únicos barcos fenicios conservados en toda la cuenca mediterránea, y uno de ellos, Mazarrón-2, se encuentra prácticamente completo, man-



La caja fuerte

teniendo la forma y posición originales, el cargamento original en su interior, y el ancla con su estacha.

Se trata de un conjunto arqueológico muy íntegro y muy bien contextualizado: todos los objetos han sido exactamente posicionados, uno a uno, mediante una estación total, y los puntos transferidos a un plano de situación de todos y cada uno de los objetos recuperados. Se han realizado moldes subacuáticos de Mazarrón-1. Se ha realizado un dibujo a escala 1:1 de los barcos. Se han realizado innovaciones metodológicas tanto en los procesos de excavación como en los de conservación *in situ* de Mazarrón-2. Se ha estudiado la dinámica del litoral y evolución de la costa que permite comprender la génesis del descubrimiento.

13.1. Prospección de la Playa de la Isla desde 1993 hasta 2002: Varios miles de fragmentos de cerámica. Además, con diferentes tipos de pastas y de acabados: ánforas, lucernas, platos, morteros-trípode, cuencos (de varios tipos), pithoi, espuelas, patena, ollas, y urnas. Varios fragmentos de lingotes de ¿plomo/litargirio? Un escarabeo completo de plata y esteatita. Una punta de lanza de ¿cobre arsenicado? Un cepo de ancla de plomo. Dos fragmentos de ¿ancla? de piedra.

13.2. Pecio 1: Restos del Barco. Madera y fibra vegetal. Muy incompleto: quilla, tracas y cuadernas. En tratamiento en el Museo-Centro. Dimensiones máximas: 5,52 x 1,46 m.



Prospección de la Playa de la Isla 1993-2000. Cada punto, posicionado mediante estación total, representa un fragmento arqueológico.

13.3. Pecio 2: Barco. Madera y fibra vegetal. Casi completo: falta tan sólo la tapa de regala de babor, el mástil y algún bao. Dimensiones: 8,15 x 2,25 x ca. 1,10 m Sigue en el fondo del mar. Cargamento: 1.744 fragmentos de lingotes de ¿litargirio? (2.120 kg de peso). Restos de una espuerta de esparto y madera. Un ánfora Trayamar-1. Un molino de mano de dos piezas, en granito gris. Varios fragmentos de huesecillos de lagomorfos, ovinos y bovinos. Dos piezas pequeñas de madera de uso no aclarado. Varios fragmentos de cabo de diversos grosores y tipos. Todo el abarrote del barco: miles de ramitas de arbusto en madera. Ancla. Toda de madera, excepto el alma del cepo que va rellena de plomo. Varias partes del ancla van atadas con cabos de fibra vegetal. Extraída casi completa (queda una parte en el fondo del mar). Además, la estacha (cabo que une el ancla al barco) en fibra vegetal. Extraída y en tratamiento.

V. Principales actividades

El amplio marco competencial asignado al Museo-Centro de Cartagena, no ha estado durante estos 20 años respaldado por una dotación de personal y de presupuestos adecuada. Parece ser que los años de mayor bonanza económica coincidieron con los años de preparación de la Expo-92 de Sevilla, durante los cuales el centro disponía cada año de numerosos contratos temporales. A pesar de ello, las sucesivas Administraciones y directores/as de

Cartagena, han desarrollado una labor benemérita en diversas áreas de su responsabilidad. Entre 1982 y 1992 primó la tendencia de:

- a) la formación de personal
- b) inicio de la elaboración de las Cartas Arqueológicas Subacuáticas.

Así, la ausencia de excavaciones sistemáticas se vio suplida por la organización de dos exposiciones temporales⁸, y de Cursos mensuales veraniegos de formación (cursos denominados “yacimiento-escuela”, que se aprovechaban para realizar las prospecciones citadas, o para la redacción de Inventarios de yacimientos submarinos de España).

Desde nuestra incorporación a la dirección de Cartagena, en 1993, decidimos plantear ante el Ministerio de Cultura unas líneas de trabajo complementarias a las anteriores:

c) la realización de una excavación sistemática de un pecio, como escuela imprescindible para engrasar los diferentes saberes de los técnicos del equipo.

d) el cambio en las técnicas de tratamiento y restauración de maderas antiguas, técnicas iniciadas por el Museo en 1988, pero que nos mantenían a mucha distancia de lo que se estaba haciendo en los países más avanzados en este campo.

e) la apertura decidida y constante del Museo-Centro al exterior, y el desarrollo de estrechos vínculos de comunicación con la Comunidad Científica Europea.

Pero especialmente, y además de todo lo resumido más arriba, los dos temas que deontológicamente más nos están preocupando durante estos años, son los siguientes:

f) el estudio y desarrollo de sistemas de protección del patrimonio náutico.

g) la creación de un sistema de prospecciones suficientemente fiable y económicamente viable.

Ello es así porque, en nuestro criterio, es previo conocer y proteger.

Sin embargo, es obligado anotar en este capítulo de actividades que, a partir de 1995, se produce un cambio en la Consejería de Cultura y Educación de Murcia que ha afectado enormemente a la vida del Museo-Centro: la opción por contratar empresas privadas para la arqueología marítima en menoscabo del Museo-Centro. Desde diciembre de 1995 la Consejería retira al Museo-Centro todos los encargos en arqueología subacuática, (urgencias, prospecciones por construcción de obra civil, etc.) que desde las transferencias de 1984 a las Autonomías habían sido invariablemente encomendados a éste, para encargárselos a empresas privadas. La única excepción que se le mantiene al Museo-Centro es la Playa de la Isla de Mazarrón, con unas muy exiguas dotaciones económicas anuales que apenas llegan para cubrir los gastos de fungibles. Así, a partir de la segunda mitad de 1995, el Museo es, de facto, encerrado entre sus propios muros y no puede realizar ninguna operación (con la citada excepción de la reaprospección anual de



Vista general de las instalaciones del Museo Centro. En primer plano, a la izquierda, con el tejado de uralita a dos aguas, el Museo. A la derecha, tres edificios. El del fondo, de color salmón, es el Centro Nacional de investigaciones submarinas. Los otros dos, almacenes.

Al fondo, Cartagena.

Mazarrón). El caso más significativo, y que durante varios años ha supuesto algo inexplicable para la ciudad de Cartagena y para nuestros colegas extranjeros, ha sido, sin lugar a dudas, el que la Autoridad Portuaria y Cultura encargasen la macroprospección del entorno de la Isla de Escombreras (previa a la construcción de una enorme explanada de 70 hectáreas de hormigón en el mar) a una empresa privada: enfrente justo del museo y con una dotación económica inicial de muchas decenas de millones de pesetas. Pero, repito, no ha sido el único, sino la norma.

Esa situación somete al Museo-Centro durante todos esos años a la inactividad en agua, a no poder conseguir contratos para personal, y a perder toda la información y documentación de los trabajos realizados en distintos puntos del litoral.

Para escapar, en parte, de esa situación, y tras casi tres años de conversaciones con el equipo de la citada Consejería, se consiguió en 1988 un Proyecto de Prospección limitado al entorno de Mazarrón, de tres años de duración, como más abajo se comenta. El resto del litoral de la provincia se ha mantenido en la situación aquí explicada.

Sin embargo de ello (o, más exactamente, paralelamente a ello), durante esos años se han ido desarrollando una serie de iniciativas y actividades que se resumen a continuación, teniendo en cuenta que la adquisición de sistemas avanzados de teledetección, la adquisición de un buen barco o de submarinos y robots, se escapa, por el momento, a nuestras posibilidades económicas. Por ello, en Cartagena estamos intentando avanzar en aquellos campos de la especialización que exigen menos inversiones económicas, debido al escaso presupuesto con que contamos.

En otro lugar hemos desarrollado *in extenso* el tema del expolio de los pecios; el de las excavaciones de urgencia; el de las prospecciones sistemáticas microespaciales y macroespaciales; y el de las excavaciones sistemáticas de pecios (NEGUERUELA, 2000-d). Aquí nos limitaremos, por tanto, a recordar algunas de las actividades que se vienen desarrollando en el Centro.

V.1. *La Protección del Patrimonio*. Es una de nuestras principales preocupaciones. Nos encontramos, corrientemente, con dos tipos de situaciones:

Primera. Un equipo de arqueólogos, de suficiente predicamento, localiza un pecio, y lo excava. Extrae los materiales de su cargamento. Documenta

más o menos minuciosamente los aspectos constructivos del barco. Y se van. En algunos casos, protegen el barco con un túmulo de arena y piedras. Estos túmulos pueden consolidarse como protección del barco o pueden ser poco a poco “lavados” por las corrientes y terminar desapareciendo, con lo que los restos del barco acaban quedando desprotegidos, a merced tanto de la acción humana cuanto de la biología marina y de las corrientes.

Segunda. Si los restos del barco no son protegidos con un túmulo, la situación es, desde el principio, mucho peor. Unos arqueólogos realizan una campaña de excavaciones en un pecio especialmente rico y cuando se les acaba la financiación económica simplemente se van. Dejan en el fondo del mar multitud de ánforas y otros objetos del cargamento así como los restos del barco. La voz de la ubicación del hallazgo se corre como la pólvora y el yacimiento comienza a ser expoliado. El equipo de arqueólogos en cuestión se justifica habitualmente diciendo que, ya se han podido documentar los principales aspectos históricos del hallazgo, o que no tenían dinero suficiente para garantizar la conservación del pecio o continuar con las excavaciones. Este caso es muy común en las excavaciones de urgencia, aunque no sólo.

Tercera. Unas personas informan a las autoridades correspondientes de la existencia de tal o cual pecio. Las citadas autoridades (administraciones locales o museos) están empeñadas en la excavación de otro pecio, o, simplemente, no disponen de los medios suficientes como para acometer una larga campaña de excavación. Los papeles van pasando de oficina en oficina y al cabo de varios meses nadie ha tomado ninguna decisión. Entretanto, y como en el caso anterior, la voz del descubrimiento del pecio se ha corrido y si alguna vez llegan las autoridades oficiales, el pecio ya ha sido concienzudamente saqueado.

A fin de empezar a luchar contra esta situación, el Museo empezó a desarrollar, en 1996, un “Proyecto de Protección del Patrimonio Sumergido”, cuyos primeros esbozos han sido publicados en la revista del Museo en 1996 (NEGUERUELA, 1996-b) y en la publicación realizada por UNESCO sobre el Encuentro Internacional de Arqueología Subacuática celebrado en Alejandría en abril de 1997 (NEGUERUELA, 1999-a). Por tanto, aquí solamente resumiré nuestras principales líneas de actuación en este campo.

Consideramos que los problemas que afectan a la conservación son, principalmente, el expolio (en sus diversas variantes, sea intencionado o no) y la acción del mar. Ello significa que los enemigos a los que debemos visualizar a fin de poderlos combatir son:

.- De un lado, la acción humana. La protección en este campo debe pasar por dos caminos: la vigilancia de los mares y la protección de los pecios.

.- De otro, la acción del mar. La protección en este campo tiene un sólo camino: la protección de los pecios.

Según lo anterior, hemos establecido dos categorías:

V.1.1. La protección activa: la vigilancia de nuestros pecios.

Consiste en vigilar físicamente las zonas del litoral tanto cuanto sea posi-

ble, a fin de impedir la acción de los buceadores clandestinos que puedan destruir nuestro rico patrimonio común. Es evidente que ningún museo del mundo dispone de los medios humanos y técnicos para acometer esta tarea de vigilancia. Y que, además, no es, posiblemente, su función. Sí que lo es, sin embargo, y sí que tienen los medios, las fuerzas de policía dedicadas a la protección de nuestras costas. Por ello, el Museo está implicado en un proceso de estrecha colaboración con los dos grupos españoles de policía que tienen competencia en la vigilancia del mar: los Grupos Especiales de Actividades Subacuáticas (GEAS) y el Servicio Marítimo, ambos pertenecientes a la Guardia Civil.

V.1.1.1. El Proyecto de protección del Patrimonio submarino con la Guardia Civil: 1996-1998. En 1996 iniciamos una línea de actuación tendente a desarrollar la protección del Patrimonio sumergido, campo prácticamente virgen en el contexto europeo. Una de las piezas de aquel proyecto era la colaboración con la Guardia Civil (a través de los Grupos Especiales de Actividades Subacuáticas, "G.E.A.S.") El Proyecto se diseñó como una serie de escalones sucesivos; en primer lugar, se consideró necesario impartir unos cursillos sobre *protección del Patrimonio Subacuático* a los miembros de dichos grupos policiales. Se pretendía con estos cursillos, no sólo ir concienciando y formando en los aspectos específicos de este patrimonio sino ir sentando las bases de la cooperación humana entre ambos colectivos: la Guardia Civil y los técnicos del Museo. En este aspecto he de decir que los resultados están siendo inmejorables.

Durante tres años, 1996, 1997 y 1998, se les impartieron sucesivos cursos, se colaboró con ellos en diversos operativos y actividades prácticas, etc.

En segundo lugar, se establecieron negociaciones con los responsables de los grupos policiales citados a fin de establecer en la misma Cartagena un grupo operativo de los GEAS (habida cuenta de que ya lo existe en el caso del Servicio Marítimo). La creación de tal unidad tiene cierta complejidad burocrática, necesita de unas instalaciones físicas y de unos equipamientos técnicos. Esta unidad de GEAS en Cartagena trabajará en estrecho contacto con el Museo-Centro, de tal manera que, tanto el servicio subacuático (los GEAS) como el servicio de superficie (el Servicio Marítimo), realizarán su trabajo cotidiano en las aguas del litoral de la Región de Murcia en estrecha cooperación con el Museo. Sin entrar en los prolijos detalles menores de carácter técnico, ambos grupos, ellos y nosotros, tenemos más que fundadas esperanzas en el óptimo resultado que este proyecto acabará dando.

Se gestionó, a través de los Ministerios de Cultura e Interior, y se consiguió, que la Guardia Civil crease el citado grupo de los GEAS con sede en Cartagena. Conseguimos del Ministerio de Defensa la cesión de un viejo pabellón de artillería de costas para instalar en él la base del nuevo grupo de los GEAS que se creaba. En UNESCO expusimos las claves principales del proyecto en el que estábamos trabajando, donde fue acogido con grandes esperanzas para su aplicación internacional. La Comunidad Autónoma fue invitada a participar. Su aportación consistiría en financiar la rehabilitación

del pequeño pabellón de artillería para instalar en él la sede operativa de los GEAS. Es lo cierto que el proyecto, que hasta entonces había ido viento en popa, superando cuantas barreras habían surgido, cayó paulatinamente en picado desde aquel momento.

Hemos discutido largamente en Cartagena la posibilidad de trabajar con excavadores clandestinos de barcos. El juego consiste en contactar con personas que se han dedicado al expolio y ofrecerles un contrato como buceadores del Museo con la intención de “reinsertarles” y ganarles como informadores. Algún Museo de Portugal lo viene haciendo en estos últimos años. Sin embargo, me parece un error por muchas razones. En primer lugar, porque los escasos contratos que nuestros Ministerios suelen facilitarnos deben ir a la formación de jóvenes arqueólogos. En segundo lugar, porque significa el triunfo absoluto y acrítico del “posibilismo”, en contra del ejercicio decidido y vigoroso de una clara política de formación de licenciados, de protección de nuestro patrimonio, y de defensa de los principios morales que deben regir la acción de los centros oficiales financiados con el dinero de los ciudadanos. La ventaja de contratar a este tipo de personas radica en que facilitan al Museo información sobre la situación de los pecios, información que, de esta manera, el Museo *compra* entrando así de una manera muy sutil en todo este asunto de la compra-venta de nuestro patrimonio que venimos denunciando. En tercer lugar, y por si no fueran suficientes las razones anteriores, porque me aterra pensar que esta política se aplicase a todos los campos de la vida de una nación (como hospitales, etc.)

Distinto de lo anterior es el que nuestros Museos deban intentar contactar con estas personas y ayudarles a cambiar drásticamente sus criterios sobre los barcos hundidos.

V.I.2. Protección pasiva: la “Caja Fuerte”.

Pretende, fundamentalmente, procurar que los pecios localizados sufran el menor daño posible debido a los avatares marinos y a la acción humana y procurar, así, legarlos a las generaciones futuras en el mismo estado en que fueron conocidos por nosotros. Para ello, en 1994, diseñé y desarrollé una estructura metálica de protección que, a modo de una gran caja fuerte de acero, se instala sobre el pecio a proteger. Entre los miembros de equipo fuimos desarrollando los aspectos concretos de su construcción. Nosotros la denominamos “Caja Fuerte” (NEGUERUELA, 1999-a), y fue instalada, la primera versión fabricada, sobre el primer barco fenicio de la Playa de la Isla de Mazarrón. Estuvo en uso durante todos los meses de excavación y prospección entre 1994 y 1995, hasta que, finalmente, el barco fue extraído por nosotros del fondo del mar y trasladado hasta los laboratorios del Museo-Centro.

Sus cuatro lados verticales están formados por planchas de acero que se hincan en el fondo marino y que evitan que el agua penetre lateralmente en el interior de la “Caja Fuerte”. El lado superior, la gran superficie horizontal que protege al pecio, está formado por planchas metálicas de 1x1 metro que pueden ser removidas individualmente a voluntad. Esto permite abrir tan

sólo las partes del barco que se deseen chequear, o abrir la “Caja Fuerte” en su totalidad para acometer operaciones arqueológicas determinadas. Si el barco en cuestión está siendo objeto de una campaña arqueológica, las planchas de cierre de 1x1 se abren cada mañana y se cierran cada tarde en una operación que requiere no más de 15 minutos y que permite al equipo de arqueólogos esperar a la mañana siguiente con la absoluta tranquilidad de que el barco está convenientemente protegido tanto contra los intrusos como contra el oleaje.

Si el barco no va a ser objeto de intervenciones arqueológicas en varios meses o años, una vez instalada la “Caja Fuerte” se procede a cubrirla con un túmulo clásico de arena y piedras que, en pocos meses, se mimetizará con el fondo marino. Su ubicación e integridad debe ser revisada periódicamente por las fuerzas policiales que trabajan en colaboración con el Museo, o, en su defecto, por los propios buceadores del Museo.

Hasta la fecha, hemos realizado ya e instalado dos de estas “Cajas Fuertes” con resultado altamente positivo. La segunda versión, instalada en noviembre de 1999 sobre el segundo barco fenicio de Mazarrón, ha sido objeto de importantes mejoras en relación con la primera, gracias a las aportaciones de los miembros del nuevo equipo, y, específicamente, a Carmelo Fernández y Angel Méndez. Ya estamos trabajando en las mejoras a introducir en la tercera versión.

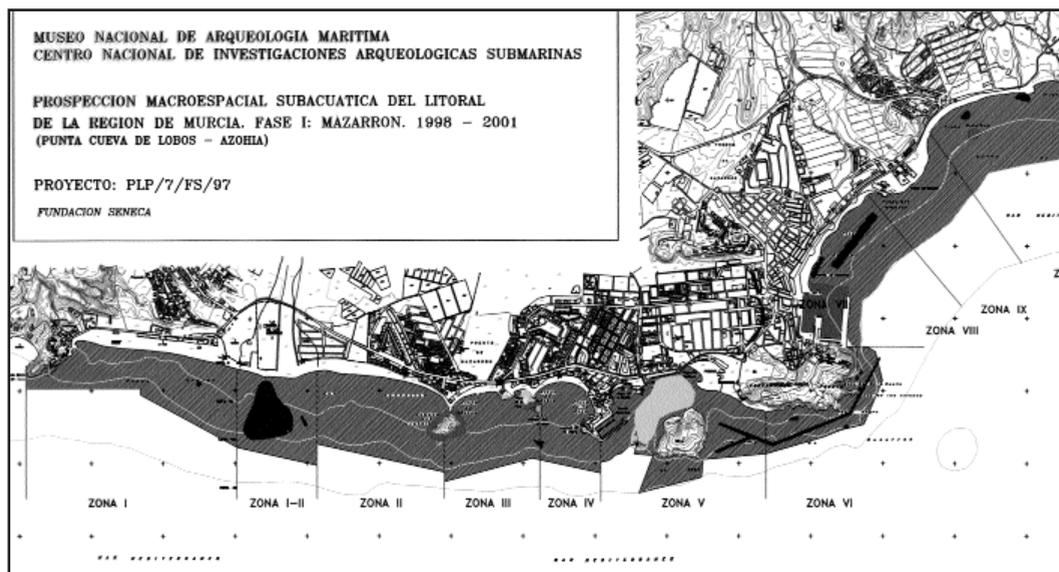
La fabricación de una de estas “Cajas Fuertes” no es barata, pero tampoco puede ser calificada de cara máxime si se tiene en cuenta el valor del bien histórico a proteger. Los sistemas de protección de cualquiera de los Museos terrestres cuestan muchísimos millones más. Puede adaptarse con igual fortuna, tanto si el fondo marino es plano como si está en pendiente. El único caso en el que no la consideramos útil es si se trata de proteger pecios de dimensiones muy considerables, mientras que para pecios pequeños y medianos se ha revelado como extremadamente eficaz, fácil de instalar, fácil de abrir y cerrar a diario, y suficientemente resistente contra los agentes agresivos. Adjuntamos alguna ilustración para facilitar su comprensión.

V. 2. *La excavación de Mazarrón-1 y Mazarrón-2*

Esta actividad, que ocupa al Museo-Centro desde 1993 hasta la finales del 2001, ya ha sido resumido más arriba, en el capítulo de los yacimientos principales.

V. 3. *La prospección sistemática del litoral*

El diseño de la política de prospección del litoral que estamos acometiendo en Cartagena desde 1996 se desarrolla según dos modelos: la prospección macroespacial y la prospección microespacial. En puridad, por prospección entendemos la macroespacial; sin embargo, en determinados yacimientos ha de primarse una intervención con características microespaciales que permitan concentrar al máximo los esfuerzos investigadores, en áreas en las que por razones de una especial concentración de hallazgos subacuáticos se requiera un modelo literalmente exhaustivo de trabajo.



Detalle parcial de la prospección del litoral de la Región de Murcia

En el contexto de las investigaciones fenicias de la Playa de la Isla de Mazarrón, estamos desarrollando una intensa prospección microespacial, desde 1993 hasta hoy. Todos los años el Museo realiza una campaña de repospección de los 72.000 metros cuadrados de la bahía, con resultados que no parecen agotarse nunca.

Al margen de este proyecto de Mazarrón, hemos comenzado en 1998 un “*Proyecto de Prospección Sistemática del Litoral de la Región de Murcia. I: Mazarrón*”. En 1997 se presentó dicho proyecto a la Fundación Séneca, dedicada al apoyo a la investigación, y vinculada de un lado al Consejo de Europa y de otro al plan nacional español I+D. El proyecto fue aprobado y se comenzó a trabajar en él en abril de 1998. Los ejes de este Proyecto son los siguientes:

- entre los 0 y -12 metros de profundidad. Buceo tradicional (arqueólogos, buceadores profesionales, filieres, torpedos, detectores de metal, etc...)
- entre los -12 y los -50. Sistemas de teledetección (sonar de barrido lateral, magnetómetro de protones y perfilador de fondos).

Partimos de la base de que más allá de los -50 metros los navíos hundidos lo han sido aleatoriamente, es decir: no en zonas de arribada o salida de puerto. Por tanto su localización y estudio resulta, en esta fase del trabajo, de importancia secundaria. Por otro lado, por encima de los -12 metros, el buceo es extremadamente cómodo, nos pone ante las zonas de arribada y salida de los asentamientos conocidos o por conocer; la posible localización de vestigios arqueológicos nos permitiría operaciones de protección asequibles a una Institución como la nuestra, y la escasa cota dificulta en muchos casos el trabajo de barcos de calado equipados con los sistemas de teledetección.

-Junto a estos dos sistemas de localización de vestigios hundidos, el Proyecto contempla la realización de sondeos geológicos en las zonas en las que por su configuración topográfica hay sospechas muy altas de que la costa ha variado sensiblemente en los últimos dos o tres mil años. Desembocaduras de los ríos, deltas, marismas, llanuras de litorales, barras y tómbolos son candidatos de primera fila a una actuación de este tipo. El criterio es que los asentamientos costeros de un período histórico determinado, han podido quedar enterrados varios kilómetros tierra adentro por la progresión de los depósitos de aluvión; o, viceversa, que la línea de costa haya sufrido una regresión importante con lo que dichos asentamientos estarían hoy claramente mar adentro.

- Para completar los datos que nos ofrezcan los tres parámetros citados anteriormente (buceo, teledetección y sondeos geológicos) el Proyecto contempla, también, el vaciado de las fuentes históricas y cartográficas de la zona en estudio.

- Y un archivo de fotografías aéreas, hasta satelitales, que refleje tanto la situación de nuestras costas en el momento actual como cuantos datos puedan extraerse de un tal archivo.

En el contexto de este proyecto (NEGUERUELA *et alii*, 1999-c; NEGUERUELA *et alii*, 2000-a; NEGUERUELA *et alii*, 2001-a), el otro punto en el que hemos desarrollado prospección microespacial es el Puerto romano de Mazarrón (no confundir con la Playa de la Isla, también en Mazarrón, pero a poniente del promontorio del faro), como ya hemos citado más arriba.

En los meses transcurridos desde que se inició el Proyecto, hemos prospectado sistemáticamente más de siete millones quinientos mil metros cuadrados. La eficacia del mismo sólo podrá medirse si la citada Fundación Séneca considera viable seguir financiando, posteriormente, otro período de tres años.

V.4.-*Conservación de maderas. Impregnación y Liofilización*

Desde 1988 el Museo-Centro viene prestando una especial atención a este campo. Primeramente, se trabajó dentro del Proyecto “Sucrose”, con diversos países: Francia, Alemania y Suiza. Posteriormente, comenzó a trabajarse con la impregnación en P.E.G. y la liofilización, si bien de una manera que hoy podríamos considerar como insuficiente.

En 1993 acometimos la posibilidad de especializarnos a alto nivel en liofilización, estimulados por la excavación y posterior recuperación del barco fenicio de Mazarrón. Tras varios años de estudios y de visitas al extranjero del químico del Museo, se adquirió en 1997 un liofilizador-piloto en cuyo diseño participó activamente el químico citado (SIERRA, 1999). La cámara tiene tan sólo unas dimensiones de 1,5 metros de longitud por 1 metro de diámetro. Pero he de decir que todos los experimentos que hemos hecho hasta la fecha han dado buenos resultados. En este mismo libro se incluye un trabajo de Sierra Méndez que explica este ámbito de nuestras actividades mucho mejor de lo que yo pueda hacer.

V.5. *Moldes subacuáticos*

También con ocasión de la excavación del primer barco fenicio de Mazarrón, 1993-1995, acometimos la experimentación sistemática en este campo. Me proponía poder hacer un molde del barco fenicio *in situ*. Para ello, comenzamos por informarnos de las experiencias previas que se habían realizado a nivel internacional, con enorme decepción, toda vez que la única experiencia sería haber sido un intento canadiense (fallido y posteriormente abandonado). Comenzamos a experimentar por nuestra cuenta, y estuvimos durante un año completo trabajando con diversas mezclas de productos hasta que encontrásemos cuáles y en qué porcentajes producían resultados más aceptables según los parámetros y exigencias que previamente habíamos fijado. El restaurador encargado del trabajo, y que lo realizó con mucha entrega, fue Luis Carlos Zambrano, que hoy trabaja en su Cádiz natal para el Centro de la Junta de Andalucía. El resultado, tras un año de pruebas y las posteriores mejoras introducidas, fue, para nosotros, muy satisfactorio (GÓMEZ-GIL, SIERRA 1996). A finales de 1996, con ocasión de una Reunión internacional en Marsella, comunicamos nuestros resultados a los colegas y amigos franceses, quienes comenzaron a utilizarlos, tiempo después, en sus propias excavaciones subacuáticas de Alejandría.

V.6. *Extracción del barco Mazarrón-1*

El estado enormemente delicado en que se encontraban los restos del barco fenicio, nos imponía un reto a la hora de diseñar paso a paso cuál habría de ser la técnica de extracción del mismo, toda vez que nuestro objetivo no era sacarlo desensamblándolo, como es habitual en todos los Museos europeos que han extraído barcos antiguos⁹, sino intentar sacarlo entero. Ole Crumlin-Pedersen y Patrice Pomey nos visitaron en 1994 y, entre otros muchos e interesantes asuntos, nos estuvieron explicando los sistemas que ellos utilizan para el desensamblado de los barcos previo a su extracción. Como nosotros pretendíamos extraerlo completo, ello nos obligó a enfrentarnos a retos nuevos y a diseñar los sistemas que nos permitiesen alcanzar nuestro objetivo con éxito.

También en este caso, como en los citados anteriormente, la fortuna guió nuestros pasos y pudimos, bajo la batuta técnica de Gómez-Gil (restaurador), Sierra (químico) y Zambrano (restaurador), extraerlo completo y trasladarlo así hasta el Museo-Centro donde actualmente se encuentra en fase de conservación bajo la responsabilidad técnica del químico D. Juan Luis Sierra (GÓMEZ-GIL, SIERRA, 1996)

V.7. *La Revista del Museo*

En 1992 se creó, bajo la entonces Directora del Museo-Centro P. Cabre-ra, la revista *Cuadernos de Arqueología Marítima* como vehículo de expresión del desarrollo progresivo de la Arqueología Marítima en España, y en concreto, en el Museo-Centro de Cartagena. Hasta la fecha se han publicado cinco números y en dos o tres meses se publicará el sexto: cuando este libro

salga a la luz, el número 6 de la Revista ya estará, previsiblemente, en los anaqueles.

V.8. Cooperación internacional

Esta es, en nuestra opinión, una parte muy importante del trabajo de un Centro de estas características, a fin de aprender de experiencias de nuestros colegas extranjeros que se hayan demostrado fructíferas y de aportar nuestras propias reflexiones a la discusión. Desde 1996, hemos comenzado a establecer contactos científicos estables y lazos de cooperación con instituciones marítimas de diversos países o supranacionales.

V.8.1. En el marco del Programa RAFAEL de la Comisión Europea hemos participado en el Proyecto Arkhé con instituciones de Italia y Francia, durante 1997-1999.

V.8.2. También en el Programa RAFAEL, hemos participado en el Proyecto Navis I (1997-1999) con instituciones de Alemania, Dinamarca, Francia, Italia, Grecia y Holanda.

V.8.3. En el mismo Programa y con los mismos países, mas algunos otros, hemos participado en el Proyecto Navis II (1999-2000)

V.8.4. Dentro del Programa EUROMED HERITAGE de la Comisión Europea el Museo-Centro ha creado y dirigido el Proyecto intergubernamental FEMAM (Foro Euromediterráneo de Arqueología Marítima) con representantes de los Gobiernos de 14 países: Irlanda, Portugal, Francia, Italia, Grecia, Turquía, Israel, Egipto, Túnez, Argelia, Marruecos, Chipre Malta y España. El objetivo principal de este proyecto ha sido organizar cursos de formación por parte de los países de la Unión Europea, destinados a alumnos de los países mediterráneos no europeos (NEGUERUELA, 1999-b). Recientemente se han publicado los dos tomos que recogen las Actas de la “Conferencia de Responsables del Patrimonio Arqueológico Sumergido”, que se celebró en Murcia-Cartagena en mayo de 1999 (NEGUERUELA 2001-c). Dichas actas se han publicado en árabe, francés, inglés y español.

V.8.5. El Museo-Centro asiste, ya designado por el Ministerio español de Cultura, ya invitado directamente por UNESCO a las reuniones que periódicamente organiza la UNESCO, tanto en París como en otras capitales, sobre temas de protección del patrimonio marítimo.

V.8.6. Alejandría-Egipto. El Museo-Centro participó en 1997 en la reunión internacional de expertos en Arqueología Marítima, organizada por el Gobierno egipcio y, con el patrocinio de UNESCO, para estudiar los restos subacuáticos aparecidos en la bahía de Alejandría (NEGUERUELA, 1999-a). Los resultados de nuestros contactos con las Autoridades egipcias fueron puestos en manos del Ministerio de Cultura.

V.8.7. En 1997 y 1998, el Museo-Centro fue invitado expresamente por el Gobierno de Irlanda para diseñar un proyecto de colaboración referido a la prospección de las aguas de aquel país en relación con los barcos de la Armada Invencible. Durante esos dos años se produjo un intercambio de técnicos entre ambos países, y una serie de conversaciones que cuajaron en el citado

Proyecto de cooperación. Los resultados de nuestros contactos con las autoridades irlandesas fueron puestos en manos del Ministerio de Cultura.

V.8.8. Sudamérica. En 2000, el Museo-Centro inicia una serie de contactos con países de Sudamérica a fin de estrechar lazos de cooperación en el campo referido a nuestros galeones. Visitan Cartagena las Autoridades de Santo Domingo, y por nuestra parte hemos visitado hasta ahora Cuba, Colombia y Argentina. Los resultados de nuestros contactos con todos esos países han sido puestos en manos del Ministerio de Cultura.

V.9. La Convención de UNESCO sobre la Protección del Patrimonio Subacuático: 1997-2001

Entre 1997 y 2001 se ha celebrado en París la convención internacional convocada por UNESCO para la redacción de un instrumento de protección del patrimonio sumergido, campo hasta entonces virgen de protección en los documentos internacionales. Se disponía, tan sólo de dos artículos de la Convención de Derecho del Mar (U.N.C.L.O.S.), claramente insuficientes. El Museo-Centro ha formado parte desde el principio de la delegación española y ha asistido a todas las reuniones que, a tal efecto, se han celebrado. La citada delegación española ha estado formada por tres Ministerios: Asuntos Exteriores, Defensa y Cultura. Nuestra particular actuación se ha centrado, fundamentalmente, en la redacción del Anexo de la misma (las normas arqueológicas que deben guiar cualquier intervención en los fondos acuáticos), toda vez que el grueso del articulado fue asumido, en general, por los representantes políticos.

V.10. El Proyecto del nuevo Museo-Centro y sus implicaciones museográficas

Ya lo hemos explicado en estas mismas páginas en el Capítulo I.3, por lo que no nos prolongaremos aquí. Lo citamos ahora como parte de las actividades que venimos desarrollando, y a lo que venimos dedicándole mucho tiempo.

Bibliografía

- BARBA, J. S., NEGUERUELA, I., PERERA, J., PINEDO, J., y ROLDÁN, B. (1993): "El pecio de la Playa de la Isla, Puerto de Mazarrón (Murcia)". *Memorias de Arqueología, Murcia*, 8, pp. 195-199.
- GÓMEZ BRAVO, M., (1994): "El Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas: resumen de sus principales actuaciones subacuáticas". *Aulas del Mar. Arqueología Subacuática-I*. Universidad de Murcia, pp. 83-94)
- GÓMEZ-GIL AIZPURÚA, C. y SIERRA, J. L., (1996): "Extracción y tratamientos del barco fenicio (Barco I) de la Playa de la Isla (Puerto de Mazarrón, Mazarrón)". *Cuadernos de Arqueología Marítima*, 4, 217-225.
- MAS, J., (1969-1970): "La nave romana de Punta de Algas", *Noticario*

- Arqueológico Hispánico, XIII-XIV*, Madrid, pp. 402-427
- MAS, J. (1972): *Perspectivas actuales de la Arqueología en Cartagena y su proyección submarina*. Cartagena.
- MAS, J., (1973), "Breve síntesis de la campaña arqueológica subacuática en la Provincia Marítima de Cartagena". *Mastia*, 4-5, pp. 51-52.
- MAS, J., (1979): *El Puerto de Cartagena*. Cartagena.
- MAS, J. (1985-a): "El Polígono Submarino de Cabo de Palos". *VI Congreso Internacional de Arqueología Submarina*. Cartagena, 1982. Madrid, pp. 153-173.
- MAS, J. (1985-b): "Excavaciones en el yacimiento submarino de San Ferrol". *VI Congreso Internacional de Arqueología Submarina*. Cartagena, 1982. Madrid, pp. 189-224.
- MIÑANO DOMÍNGUEZ, A. I., (1995): "Inventario de yacimientos arqueológico marítimos y litorales de la Provincia de Las Palmas", *Cuad. Arq. Marítima*, 3, pp. 125-158.
- NEGUERUELA, I. (1994): "Algunas reflexiones parciales sobre el Museo Nacional de Arqueología Marítima". *Aulas del Mar. Arqueología Subacuática-I*. Cartagena, 1993. Universidad de Murcia, 1994. pp. 73-82).
- NEGUERUELA, I., PINEDO, J., GÓMEZ, M., MIÑANO, A., ARELLANO, I., y BARBA, S., (1995-a), "Seventh-century BC Phoenician vessel discovered at Playa de la Isla, Mazarrón, Spain". *The International Journal of Nautical Archeology*, 24, pp. 189-197.
- NEGUERUELA, I., PINEDO, J. M. GÓMEZ, A. MIÑANO, I. ARELLANO y BARBA, S., (1995-b): "Descubrimiento de dos barcos fenicios en Mazarrón (Murcia)", *IV Congreso Internacional de estudios fenicios y púnicos*. Cádiz, Vol. IV, pp. 1671-1680.
- NEGUERUELA, I., (1995-c): "Continúan las excavaciones en el barco fenicio de Mazarrón", *Revista de Arqueología*, pg. 63
- NEGUERUELA, I., (1995-d): "El futuro de los Cuadernos de Arqueología Marítima", *Cuadernos de Arqueología Marítima*, 3, pp. 7-10.
- NEGUERUELA, I., (1996-a), "Anteproyecto para la futura sede del Museo Nacional de Arqueología Marítima-Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Subacuáticas". *Cuadernos de Arqueología Marítima*, 4, 229-237.
- NEGUERUELA, I. (1996-b) "I Curso sobre protección del Patrimonio Arqueológico Subacuático". *Cuadernos de Arqueología Marítima*, 4, 239-243.
- NEGUERUELA, I. (1996-c): "Algunos de los proyectos en marcha", *Cuadernos de Arqueología Marítima*, 4, 251-252.
- NEGUERUELA, I., (1997): "Análisis de la Legislación sobre Museos de la Región de Murcia". *ACTAS del VI Congreso Nacional de ANABAD*. (Murcia, 26-28, VI, 1996), pp. 621-626
- NEGUERUELA, I., (1999-a), "Protection of Shipwrecks: the experience of

- the Spanish National Maritime Archeological Museum (Cartagena, Spain)”. En *Underwater Archaeology and Coastal Management. Focus on Alexandria*, 1997 UNESCO. Paris, UNESCO, 2000, pp. 111 - 116.
- NEGUERUELA, I., (1999-b), *El Foro Euro-Mediterráneo de Arqueología Marítima*. Cartagena. (Edición en español, inglés y francés).
- NEGUERUELA, I., MÉNDEZ, A., GONZÁLEZ GALLERO, R., CORREA, C., (1999-c): “Carta arqueológica Subacuática del litoral de la Región de Murcia. I: Mazarrón. Campaña de 1998”, *X Jornadas de Arqueología Regional*, Murcia, Mayo. P. 58.
- NEGUERUELA, I., M. A. PÉREZ BONET, C. GÓMEZ-GIL, E. PEÑUELAS, A.GARCÍA CARRASCO, J. L. SIERRA, M. RODRÍGUEZ DE VIGURI, y M. ORS, (1999-d): “Proyecto museológico para la construcción de la nueva sede del Museo Nacional de Arqueología Marítima y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Subacuáticas, (M.N.A.M.-C.N.I.A.S.)”, en *Cuadernos de Arqueología Marítima*, 5, pp. 9-50.
- NEGUERUELA, I. (1999-e): “Los Museos arqueológicos de la región de Murcia. Situación actual y perspectivas de futuro”, en *Cuadernos de Arqueología Marítima*, 5, pp. 205-206.
- NEGUERUELA, I. (1999-f): “Avanzando en la protección del patrimonio sumergido”, *Cuadernos de Arqueología Marítima*, 5, pp. 207-208.
- NEGUERUELA, I., (1999-.g): “Algunos de los proyectos en marcha”, *Cuadernos de Arqueología Marítima*, 5, pp. 209-210
- NEGUERUELA, I., R. GONZÁLEZ, C. CORREA, A. MÉNDEZ, M. SAN CLAUDIO Y C. MARÍN (2.000-a): “Carta Arqueologica subacuática de la Región de Murcia. I: Mazarrón. Campaña de 1999”. *XI Jornadas de Patrimonio Histórico y Arqueología Regional*. Murcia, mayo de 2000. Pp. 21-23.
- NEGUERUELA, I. (2000-b): “La arqueología científica marítima. La historia sumergida”. en *Anuario Marítimo del Estado Español*, 2000, pp. 790-795.
- NEGUERUELA. I. (2000-c): “Naukia otis aktés tes Mourcia», en *Epta Hemera*. Atenas, 3 de Septiembre, 2000, pp. 6-7.
- NEGUERUELA, I. (2000-d): “Managing the maritime Heritage. The National Maritime Archeological Museum and National Centre for Underwater Research, Cartagena, Spain”, en *The International Journal of Nautical Archaeology*, vol. 29,2, pp. 179-198.
- NEGUERUELA, I. (2000-e): “La gestion de nuestro patrimonio marítimo: el caso del Museo Nacional de Arqueología Marítima y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Subacuáticas de Cartagena, España”, en *Background materials on the protection of the Underwater Cultural Heritage*. 2, UNESCO, Paris, pp. 517-534.
- NEGUERUELA, I., R. GONZÁLEZ GALLERO, M. SAN CLAUDIO, A. MÉNDEZ, M. PRESA y M. GAMBOA (2001-a): “La prospección suba-

- cuática del litoral y la excavación de Mazarrón 2, en la Playa de la Isla”, *XII Jornadas de Patrimonio Histórico y Arqueología Regional*. Murcia, mayo 2001, pp. 33-35.
- NEGUERUELA, I., (2001-b) : “Museo-Centro”, en *Patrimonio de Cartagena* (coord. Elena Ruiz), Murcia, vol 1, pp. 190-209.
- NEGUERUELA, I., (2001-c): “Presentación” en *Actas de la Conferencia Euromediterránea de responsables de la gestión del Patrimonio Subacuático. F.E.M.A.M. Murcia, 17-20 de Mayo de 1999*. Madrid, edición tetralingüe (español, inglés, francés y árabe).
- PASCUAL BERLANGA, G. (1999): “El yacimiento submarino del Pudriemel. Estudio de los materiales depositados en el Museo Nacional de Arqueología Marítima”, *Cuadernos de Arqueología Marítima*, 5, pp. 59-151.
- PINEDO REYES, J. y PEREZ BONET, M^a A. (1991): “El yacimiento subacuático tardorromano de Cala Reona. Cartagena. Estudio preliminar”. *Antigüedad y Cristianismo*, VIII, Murcia, pp. 391-407.
- PINEDO REYES, J. MIÑANO DOMÍNGUEZ, A. y NEGUERUELA MARTÍNEZ, I. (1994): “Underwater archaeology in the South-east of Iberian Peninsula. Last researchs”. *Proceedings of the VIIIth International Congress of Maritime Museums. Museu Maritim de Barcelona, 1993*. Barcelona, 1994., pp. 154-172.
- ROLDÁN BERNAL, B., MARTÍN CAMINO, M., y PÉREZ BONET, M. A. (1995): “El yacimiento submarino del Bajo de la Campana”, en *Cuadernos de Arqueología Marítima*, 3, pp. 11-62.
- SIERRA, J. L., y GÓMEZ-GIL AIZPURÚA, C. (1999). “Adquisición de un liofilizador para el estudio y tratamiento de maderas arqueológicas saturadas de agua”. *Cuadernos de Arqueología Marítima*, 5, pp. 211-216.
- VI Congreso Internacional de Arqueología Submarina. Cartagena, 1982. Museo y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas, Cartagena, 1985

Notas

¹ VI Congreso Internacional de Arqueología Submarina. Cartagena, 1982. Museo y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas, Cartagena, 1985

² En Septiembre de 1993, a poco de habernos incorporado a la Dirección del Museo-Centro, dimos una Conferencia en el contexto de las Aulas del Mar que organiza la Universidad de Murcia. NEGUERUELA, I.: “Algunas reflexiones parciales sobre el Museo nacional de Arqueología Marítima”, en *Aulas del Mar. Arqueología Subacuática-1*. Murcia, 1994, pp. 73-82. Allí exponíamos con alguna extensión nuestra visión de cómo se desarrollan (o mueren) los Museos, estableciendo tres Etapas bien marcadas por una serie de factores que tienen que ver con sus objetivos, fines y razón de ser y que se se desenvuelven a través de medios materiales y humanos. Según aquel esquema, la construcción de la nueva sede, junto con otros logros para la Institución que allí secitaban, tenía por objeto el introducir al Museo-Centro en la allí definíamos como “Tercera Etapa” en el desarrollo de la vida de esta Institución, con todo lo que en aquellas páginas de 1993 significábamos para la con-

solidación definitiva de esta parte de la Cultura.

³ Ver en este mismo trabajo, más abajo.

⁴ En 1992 la superficie que se pensaba construir no llegaba a los 3.000 m², según me comunicó el entonces presidente de la Autoridad Portuaria, don Jose Luis Saura Ros. En 1993 se nos solicitó un Informe desde la Dirección General: nosotros pedíamos 12.000 m². Finalmente, en 1995, al arquitecto se le encargó un Proyecto sobre algo menos de 6.000 m², con lo que, aunque bastaba para hacer una buena inauguración museográfica con los materiales existentes (incluido, entonces, Mazarrón-1, con el que ya contábamos), no se preveía el crecimiento futuro para las próximas décadas.

⁵ ROLDÁN BERNAL, B., MARTÍN CAMINO, M., y PÉREZ BONET, M.A.: "El yacimiento submarino del Bajo de la Campana", en *CAM* 3, 1995, pp. 11-62.

⁶ Los datos que aquí incluyo sobre el Puerto de Cartagena, tanto púnico como romano, se deben a M^a A. Pérez Bonet, Conservadora Facultativa del Museo desde 1993. Desde aquí le expreso mi agradecimiento.

⁷ Lo mismo dicho en la Nota anterior, vale para los datos del Puerto de Mazarrón, Púnico y Romano.

⁸ *Plumbum Nigrum. Producción y comercio del plomo en Hispania*. Museo Nacional de Arqueología Marítima y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas. Cartagena, 1987. *La Arqueología Subacuática en España*. Museo Nacional de Arqueología Marítima y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas. Cartagena, 1988. (2^a ed. 1990).

⁹ Roskilde, Lelystad, Marsala, Ma'agan Michael, etc.

**EL CENTRO DE ARQUEOLOGÍA SUBACUÁTICA DE LA
COMUNIDAD AUTÓNOMA ANDALUZA Y LA
CONSERVACIÓN DEL MATERIAL ARQUEOLÓGICO**

Carmen GARCÍA RIVERA

Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. Centro de Arqueología Subacuática
Avda. Duque de Nájera 3 -Balneario de la Palma-, 11071 Cádiz
E-mail: cas.iaph.ccul@juntadeandalucia.es

Luis Carlos ZAMBRANO VALDIVIA

Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. Centro de Arqueología Subacuática
luis.zambrano.ext@juntadeandalucia.es

La necesidad de proceder a una correcta tutela del Patrimonio Arqueológico Subacuático hace que la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía se plantee la necesidad de creación de un centro especializado en esta materia.

Surge así el Centro de Arqueología Subacuática de la Comunidad Autónoma Andaluza que se integra, como un servicio especializado, en la Dirección General de Bienes Culturales a través del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, asignándole, mediante Orden de la Consejería de Cultura de fecha 29 de abril de 1997, el uso y la gestión del inmueble Balneario de la Palma y el Real de la ciudad de Cádiz, a efectos de ejercer las funciones de investigación, protección, conservación, restauración y difusión del patrimonio arqueológico subacuático.

El edificio y su restauración

El Balneario de Nuestra Señora de la Palma y del Real, conocido como Balneario de la Palma, se sitúa en la playa de La Caleta. Fue edificado en el año 1927 y responde a los conceptos estéticos del Modernismo correspondiente al primer cuarto del siglo XX, junto a rasgos eclécticos de tendencia ornamental y a claras influencias regionalistas.

Está construido en hormigón armado a base de pilares que se asientan sobre la arena y presenta planta de cuarto creciente que se estructura en un pabellón central del que parten dos alas con miradores en sus extremos. La parte superior consta de una amplia terraza con vistas al mar.

El edificio, que había tenido un uso casi continuo como balneario, se encontraba en estado ruinoso debido al abandono al que se había visto sometido en los últimos años. Por ello la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía inicia un proceso de expropiación forzosa al objeto de evitar la desaparición de un inmueble que poseía valores en sí mismo para su protección y conservación y que, debido a sus características y situación, había pasado a formar parte del paisaje de la ciudad.

Este proceso culmina en el año 1990 con la ocupación del inmueble, encargando la Dirección General de Bienes Culturales al Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico la elaboración de un Plan de Usos acorde con las nuevas funciones asignadas, que permitiera proceder a la redacción del Proyecto de Restauración.

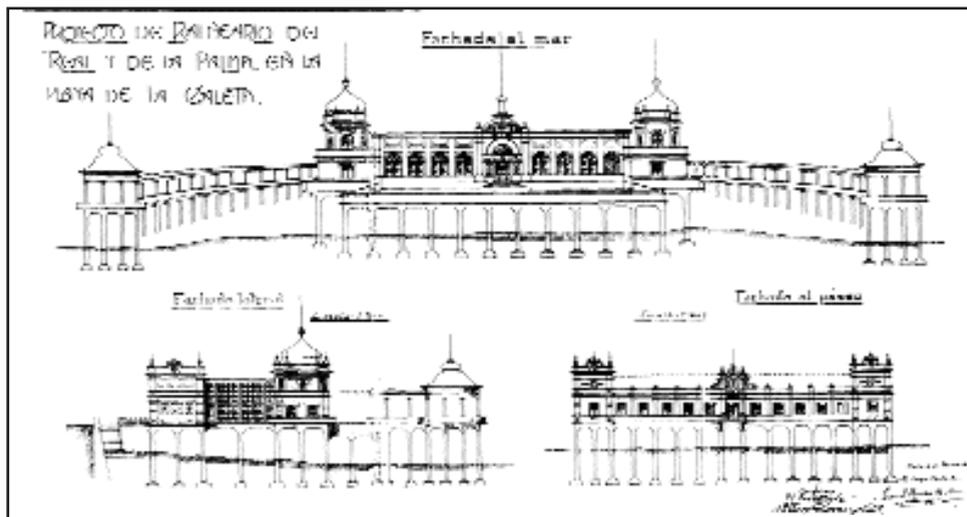


Fig. 1: Proyecto inicial del Balneario del Real y de la Palma

El Plan de Usos, redactado por el Centro de Intervención del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico con el asesoramiento de Constantino Meucci – químico del ICR de Roma –, propone un modelo integral de Centro, que abarque "el ciclo completo de acciones inherentes a los trabajos implícitos a la disciplina de la arqueología subacuática que comprende la documentación, protección, investigación, intervención y conservación y que culmina con la difusión de los resultados obtenidos a lo largo de todo el proceso. Partiendo de esta premisa se articula el centro como un brazo periférico del IAPH con una estructura integrada en este organismo central".

"Para optimizar su viabilidad se vio conveniente contar con dos equipos físicos diferentes: un núcleo central ubicado en el Balneario de la Palma, donde se lleve a cabo la gestión, planificación documentación, investigación, conservación, etc; en síntesis aquellas funciones propias del CAS. Y un polo periférico de apoyo a las actividades del centro, ubicado en el exterior y bien comunicado con el mar, que sirva de almacén de la maquinaria e instrumental necesario para desarrollar los trabajos de campo. Actualmente, esta área no está ejecutada, aunque sí definidas su función, instalación y equipamiento (MEUCCI *ET ALI*, 1999).

El proyecto de restauración, redactado por los arquitectos Antonio Martín Molina, Montserrat Díaz Recasens y José M^a Prieto Gracia, procuró en todo momento respetar la imagen original del edificio adaptándola a las características funcionales que requería el CAS. Para ello resolvió las instalaciones en zonas bien diferenciadas:

- La zona central, en su planta baja, alberga las áreas de lavado y los talleres de cerámica, metal y madera. Se organizaron las dependencias interiores intentando conseguir la máxima flexibilidad, acotándose tan sólo las áreas que precisaban unas condiciones térmicas especiales

En la planta alta, la dirección, archivos y un aula de conferencias completan la administración del centro.

- Las alas del edificio se destinan al departamento de intervención y al departamento de documentación, difusión y formación.

- El pabellón de entrada alberga la maquinaria necesaria para el buen funcionamiento de las complejas instalaciones que posee el centro y que, por sus características, debían estar "en tierra".



Fig. 2: Vista general del edificio desde la sala de reuniones del ala sur

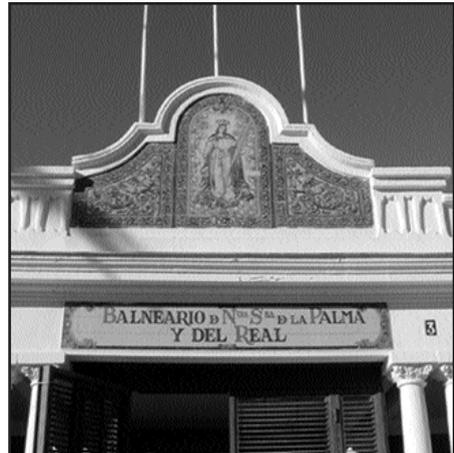


Fig. 3: Detalle del azulejo sevillano que corona el cuerpo de entrada al Balneario

Funciones y estructura

El Centro de Arqueología Subacuática desempeña, en el medio subacuático, funciones de investigación, protección, conservación-restauración y difusión del patrimonio arqueológico, así como de formación de técnicos especialistas en esta materia.

Para ello, y de acuerdo con los criterios definidos en el Plan General de Bienes Culturales de la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía, se plantea:

- Identificar el patrimonio arqueológico subacuático y sistematizar su información, reconociendo su diversidad y distribución espacial, determinando el grado de riesgo a que está sometido y transmitiendo su valor y vulnerabilidad a la sociedad.

- Mejorar la eficacia de los instrumentos de protección desde una nueva visión más integral de la misma y desde la comprensión de nuestro patrimonio como un factor para la estructuración territorial y el desarrollo social y económico de Andalucía.

- Desarrollar y ejecutar programas de investigación histórico-arqueológica del patrimonio subacuático, con el fin de perfeccionar su conocimiento y los criterios, métodos y técnicas para una correcta intervención en el medio subacuático.

- Adoptar medidas para evitar o minimizar los problemas de conservación del patrimonio arqueológico subacuático, actuando sobre las causas que provocan su degradación.

- Difundir el patrimonio arqueológico subacuático y las acciones de tutela que sobre él se realizan, fomentando, entre los ciudadanos, actitudes de participación en la defensa y disfrute de este patrimonio.

- Perfeccionar técnica y científicamente a los profesionales, generando una oferta formativa de calidad.

La estructura propuesta para este centro, de acuerdo con el Plan de Usos redactado por el Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, es funcional en el sentido de que comprende un ciclo de producción completo, y a tal efecto el CAS se articula en secciones separadas estrechamente interconectadas entre ellas en las diferentes fases de la secuencia lógica de sus acciones y del desarrollo de sus proyectos:

- Director de Centro: es el encargado de coordinar las acciones, investigaciones y proyectos del Centro, de acuerdo con la dirección del IAPH y con su política de actuación.

- Departamento de Administración: es el encargado de gestionar y administrar los recursos del Centro.

- Departamento de Documentación, Difusión y Formación: es el encargado de tratar, normalizar y sistematizar la información generada por las diferentes áreas del Centro, difundir los resultados de los trabajos y organizar cursos de formación de profesionales en esta disciplina. Este departamento se complementa con los siguientes servicios: Biblioteca especializada en arqueología subacuática y Archivo del Centro.

Área de Documentación: la línea de actuación en este campo se centra principalmente en la localización y sistematización de la información relativa al patrimonio cultural sumergido, de cara a atender tanto las necesidades internas como aquellas solicitudes que se plantean a nivel externo.

Área de Difusión: dentro de esta área se viene trabajando en dos campos diferentes: Difusión especializada, con la inclusión en la revista del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (Boletín PH) de una sección destinada a la problemática que plantea la tutela del patrimonio arqueológico subacuático, y difusión genérica, impartiendo conferencias en diferentes instituciones y diseñando un programa de visitas para atender a colectivos de estudiantes.

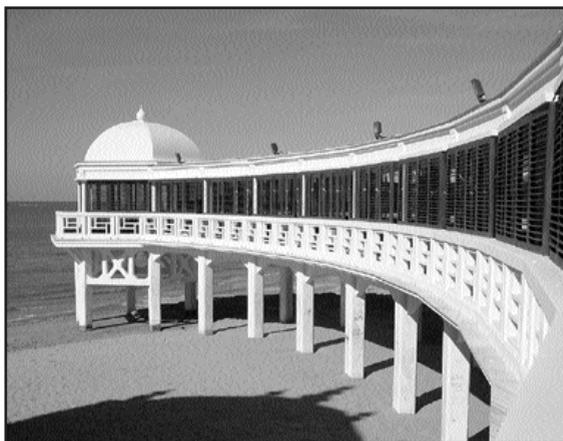


Fig. 4: Vista del ala norte del edificio donde se localiza el departamento de documentación, difusión y formación

Área de Formación: el programa de actividades formativas se inició en el año 2001 diseñando y desarrollando, en colaboración con la Delegación Provincial de Cultura de Cádiz, las 1ª Jornadas Técnicas de Protección del Patrimonio Arqueológico, dirigidas a los Cuerpos de Seguridad del Estado. Asimismo está prevista la realización de un curso sobre Conservación-Restauración de Objetos Arqueológicos de Procedencia Subacuática, dirigido a técnicos especialistas en esta materia, que se incluye en la oferta formativa del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico.

- Departamento de Intervención: es el encargado de proponer y ejecutar proyectos y actuaciones encaminados a la protección, investigación y conservación-restauración del patrimonio arqueológico subacuático, en el marco de los recursos y programas establecidos por la Dirección General de Bienes Culturales de la Consejería de Cultura. Se estructura en torno a las siguientes áreas:

Área de Protección: una de las misiones encomendadas al Centro es el asesoramiento, a instancia de los organismos competentes, de aquellos proyectos que puedan afectar al patrimonio arqueológico subacuático. En este sentido se han realizado labores de asesoramiento técnico dirigidas tanto a las Delegaciones Provinciales de Cultura y Dirección General de Bienes Culturales como a particulares. Este asesoramiento se ha producido principalmente como consecuencia de la llegada de proyectos de obras -dragados, regeneraciones de playas, construcción de espigones, gaseoductos, oleoductos, centrales térmicas, etc.- que pudieran afectar al patrimonio arqueológico sumergido.

Área de Investigación: es la encargada de planificar y ejecutar las acciones necesarias para la localización e identificación de los yacimientos arqueológicos subacuáticos que se localizan en aguas andaluzas, así como de planificar y desarrollar proyectos específicos con el fin de mejorar los métodos, técnicas y herramientas aplicados a la investigación en el medio subacuático. En este sentido ha desarrollado, desde su puesta en marcha en el año 1997, diferentes proyectos. En la actualidad el CAS ha optado por centrar sus esfuerzos en un proyecto único encaminado a la localización, identificación y evaluación del patrimonio arqueológico subacuático andaluz. El objetivo que se persigue con este proyecto es disponer de un catálogo de



Fig. 5: Interior del ala sur en la que se localiza el Departamento de Intervención

yacimientos, lo más exhaustivo posible, que pase a integrarse en la Base de Datos de Yacimientos Arqueológicos de Andalucía y que permita establecer los mecanismos necesarios para proceder a una correcta protección y conservación de los mismos, así como diseñar estrategias futuras de investigación.

Área de Conservación: es la encargada de planificar y ejecutar las acciones necesarias para evitar o minimizar los problemas de conservación de los materiales arqueológicos, orgánicos e inorgánicos, que se localicen en el medio subacuático o procedan de él.

El área de conservación del C.A.S. cuenta con un equipamiento técnico adaptado al desarrollo de una serie actividades que pueden englobarse en dos apartados; 1/ los proyectos de investigación pertenecientes a la planificación anual del Centro, y 2/ la prestación de los servicios propios que le son encomendados por la Administración Autonómica.

El citado equipamiento se distribuye a través de los diferentes espacios funcionales en que se organiza el área de conservación.

Los cuatro talleres de restauración dedicados a madera (2), cerámica y metales cuentan con la siguiente instalación básica: doble acceso de amplias dimensiones para la recepción de piezas voluminosas, grupos de climatización independientes y regulables (14 - 40 ° C de temperatura y 25 - 100% de humedad relativa), salida de agua osmotizada (conductividad 12 mS/cm²), conexión de aire comprimido -herramientas neumáticas-, aspiración de aire -vacío-, instalación eléctrica trifásica, desagües para material corrosivo, iluminación exenta de radiaciones ultravioleta y banco de trabajo diáfano en acero inoxidable.

La zona común de restauración destinada al lavado, consolidación e impregnación de grandes piezas constituye el mayor espacio hábil del Centro -352 m²-. La dotación de esta zona es similar a los talleres, estando las tomas de servicio fijadas en el techo sobre diez brazos articulados que se distribuyen a lo largo del espacio rectangular.

Otras instalaciones anexas y diseñadas con una función específica son:

- taller de electrolisis destinado al tratamiento estabilización de objetos metálicos mediante técnicas electrolíticas.
- zona de liofilización para el tratamiento de materiales orgánicos.
- cámara frigorífica, -dim. 8 m²- regulable hasta 4 °C, para el mantenimiento preventivo de materiales orgánicos (madera, cuero, fibras, ...).
- congelador industrial, -dim. 8 m²- regulable hasta -30 °C, para tratamientos específicos de los materiales orgánicos.
- almacén de obras restauradas acondicionado para la exhibición y el mantenimiento temporal de los materiales arqueológicos.
- almacén de materiales arqueológicos en espera de tratamiento acondicionado para el mantenimiento preventivo de los objetos.
- almacén de materiales de restauración donde se conservan los productos químicos necesarios para la aplicación de los diferentes tratamientos de conservación.

En el desarrollo de sus funciones, la ordenación de proyectos y servicios permite una planificación racional de los cometidos que se establecen en el plan de usos del Centro de Arqueología Subacuática del IAPH. De forma resumida, se expone una relación de las principales actuaciones en curso agrupadas en los dos apartados; servicios y proyectos.



Fig. 6: Zona de informática y análisis físico-químico en el ala norte del edificio

Servicios

Los servicios prestados por el área de conservación del C.A.S. pueden clasificarse en medidas prácticas y asesoramiento técnico. El apartado práctico comprende las medidas de conservación preventiva, curativa y restauración aplicables sobre:

- Objetos recuperados por el Centro de Arqueología Subacuática en el desarrollo del proyecto "Localización y evaluación del patrimonio arqueológico subacuático del litoral andaluz".
- Objetos recuperados por el Centro de Arqueología Subacuática en el desarrollo de actuaciones no-programadas por situaciones de expolio, obras públicas y hallazgos casuales en el Patrimonio Arqueológico Subacuático.
- Objetos requisados por los cuerpos de seguridad del estado y procedentes del expolio arqueológico.

En cuanto al asesoramiento técnico, las actuaciones más habituales realizadas por el área de conservación son el examen diagnóstico y la propuesta de conservación, tanto de objetos individuales como de conjuntos *in situ*, frecuentemente relacionados con situaciones de expolio, obras públicas y hallazgos casuales en el Patrimonio Arqueológico Subacuático. Debido a la progresiva concienciación de la sociedad



Fig. 7: Zona común de restauración con el laboratorio de cerámica y el expositor de materiales restaurados al fondo

respecto de esta parcela del patrimonio cultural, la demanda de asesoramiento técnico es un servicio en aumento, dirigido tanto a empresas del sector cultural como a la propia administración.



Fig. 8: Ánfora púnica requisada por el Servicio Marítimo de la Guardia Civil en la zona de la Bahía de Cádiz

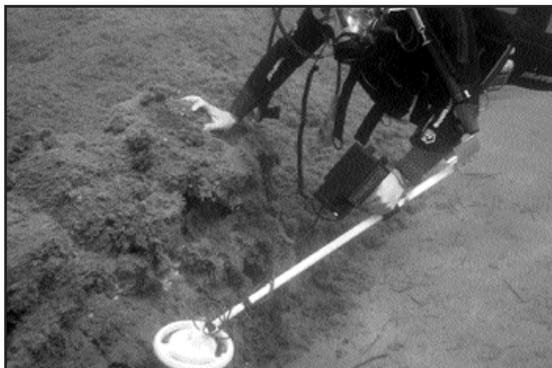


Fig. 9: Inspección subacuática en la zona de Cabo de Gata, Almería

En este sentido, cabe destacar la participación de este área, junto con la de Protección y Formación del CAS, en un proyecto de la Dirección General de Bienes Culturales de la Junta de Andalucía denominado "La protección del patrimonio arqueológico contra el expolio". El objetivo de este proyecto dirigido a las fuerzas de seguridad del estado (Servicio Marítimo de la Guardia Civil, SEPRONA y Policía Autónoma) es el de proporcionar las "herramientas" teórico-prácticas –marco jurídico, definición, reconocimiento, medidas administrativas de protección y conservación preventiva- para desarrollar con eficacia la lucha contra el expolio patrimonial.

Dentro del Programa de Formación del IAPH, el Centro de Arqueología Subacuática participa en el curso "Taller de conservación preventiva en excavaciones arqueológicas *in situ*" (26-28 de marzo, 2003) y organiza el curso "Tratamiento preventivo de objetos arqueológicos en yacimientos húmedos y salinos" (21-23 de mayo, 2003).

Proyectos

El apartado de proyectos incluye de una parte los que son directamente promovidos por el área de conservación (Tratamiento de fondos museísticos, Registro documental y conservación preventiva, Optimización del método electrolítico...), y aquellos otros donde se participa de forma eventual (Localización y evaluación del patrimonio arqueológico subacuático del litoral andaluz).

Tratamiento de fondos museísticos de la Comunidad Autónoma de Andalucía

La existencia en los museos de la Comunidad Autónoma de Andalucía de restos arqueológicos de procedencia subacuática en riesgo de alteración es el

motivo de actuar mediante un proyecto sistemático de conservación sobre dichos materiales para detener los procesos de alteración existentes. Las condiciones de degradación observadas en estos materiales se derivan principalmente de la falta de estabilización necesaria para la transición de los objetos entre el medio acuático-marino y el atmosférico-terrestre. Por otra parte, se comprueba asimismo la necesidad de actuar sobre las medidas de conservación preventiva en el embalaje y acondicionamiento individual de los objetos.

Los objetivos generales que se han marcado para este proyecto son:

- Actuar sobre los procesos de degradación de los objetos de procedencia subacuática no-estabilizados con posterioridad a su extracción del medio arqueológico.

- Contribuir a la salvaguarda del patrimonio arqueológico procedente de yacimientos submarinos que se halla depositado en Museos de la Comunidad Autónoma de Andalucía cuyo estado reviste un riesgo inmediato de destrucción.

- Mejora de las condiciones de mantenimiento para los materiales arqueológicos de procedencia subacuática en depósito y exposición dentro de los museos de la Comunidad Autónoma de Andalucía.

Dentro del año 2002 se ha atendido el conjunto del material cerámico recuperado en el yacimiento de la Ballenera; presenta muchas de las alteraciones características de este material en el medio marino. Como alteración más evidente hay que destacar la fractura de los objetos iniciada en el hundimiento y prolongada en el fondo marino a causa de las corrientes y el peso de la cubrición, que se traduce en 1856 fragmentos, de los cuales, finalizado el proceso de restauración, se obtendrán un número todavía indeterminado de piezas reconstruidas.

El tipo de cerámica encontrado en "la Ballenera", englobado genéricamente bajo la denominación "mayólica", observa distintos problemas de conservación sobre el revestimiento de decoración vidriada que lo caracteriza. Brevemente resumidos; estos problemas son: depósitos minerales de hierro procedente de la corrosión del material metálico adyacente, sulfuros metálicos, concreciones calcáreas de origen biológico y exfoliación del recubrimiento decorativo por cristalización de las sales solubles.

Dentro del proyecto de conservación y restauración desarrollado por el C.A.S. se ha trabajado sobre el citado conjunto para devolver la consistencia física al material mediante la consolidación y desalación de las piezas, así como para ofrecer una visión legible de los objetos a través de su limpieza y reintegración. De forma resumida, las actuaciones desarrolladas sobre este

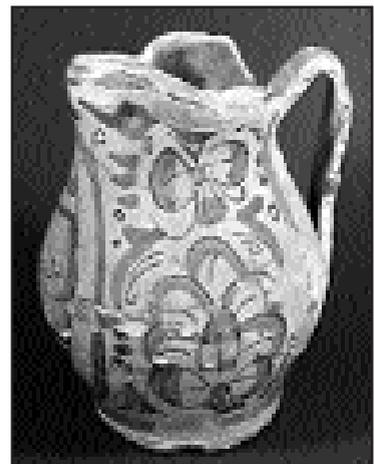


Fig. 10: Jarra policroma de procedencia italiana

conjunto han sido: 1/ la clasificación, diagnóstico y proyecto de conservación del material, 2/ el tratamiento de conservación curativa consistente en: a) consolidación del soporte, b) fijación de vidriado, c) extracción de sales solubles, d) eliminación de concreciones calcáreas, e) eliminación de productos de corrosión, f) eliminación de sulfuraciones, y 3/ el tratamiento de restauración consistente en: a) reintegración del soporte, b) reconstrucción del soporte, y c) reintegración de la policromía.

Registro documental y conservación preventiva

El área de Conservación del Centro de Arqueología Subacuática está desarrollando un proyecto de investigación aplicada para el registro documental y la conservación preventiva de grandes cañones de hierro localizados en los bajos rocosos próximos al Castillo de San Sebastián



Fig. 11: Cañones de hierro semi enterrados en el lecho marino

Para la investigación arqueológica, éstos y otros cañones son muchas veces el único material conservado de un determinado acontecimiento histórico. Sin embargo, las fuertes concreciones marinas generadas por el hierro en ambiente submarino dificultan su estudio. La desconcreción con fines arqueológicos comporta indefectiblemente una intervención completa de conservación sobre el objeto extraído.

Esto es así debido a los mecanismos particulares de la corrosión metálica en el medio marino donde los objetos se estabilizan protegidos por gruesas capas de concreción impermeables al oxígeno y al agua. De esta circunstancia se deriva que ante la imposibilidad de extraer y conservar todos los cañones localizados, la documentación arqueológica del hallazgo se limita a unas mediciones someras efectuadas sobre las concreciones del objeto.

El proyecto tiene por objeto realizar trabajos *in situ* de desconcreción puntual y controlada sobre los citados cañones. Esta operación se desarrolla junto con los arqueólogos del dpto. de intervención utilizando medios mecánicos para remover la concreción externa de las zonas señaladas con mayor interés documental. El siguiente paso consiste en registrar tridimensionalmente las zonas "limpias" mediante moldes flexibles de silicona.

Concluida esta operación se comienza a trabajar sobre los procesos de corrosión en el objeto metálico a través de dos sistemas: instalación de ánodos de sacrificio conectados al núcleo metálico del objeto y aplicación de resinas epoxy formuladas para su aplicación bajo agua y efecto anticorrosión. Finalmente es preciso verificar la ausencia de corrosión contrastando las medidas periódicas de pH y Eh sobre los diagramas de equilibrio electroquímico.

Proyecto de optimización del método electrolítico de conservación.

El principal fin de todo tratamiento de hierro arqueológico de origen marino es eliminar los cloruros de los productos de corrosión. Si esto se realiza

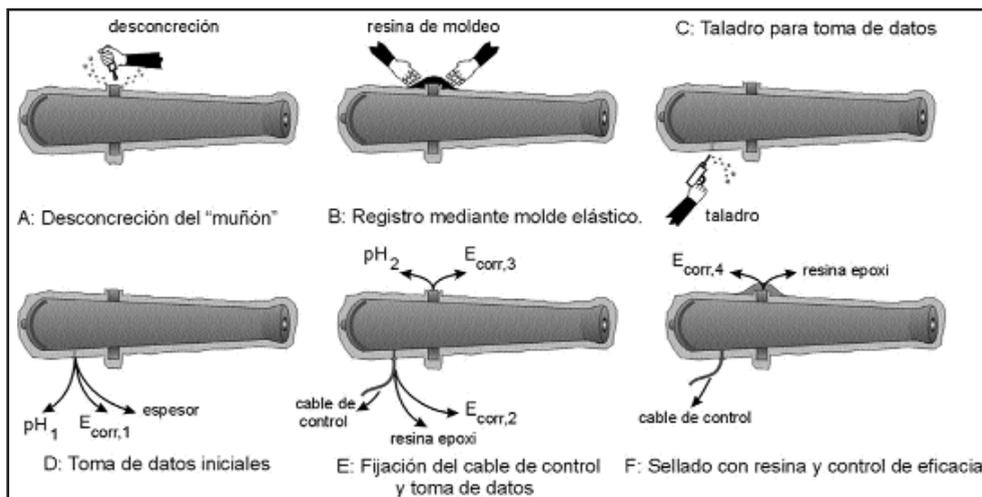


Fig. 12: Descripción gráfica del proceso completo de desconcreción, registro arqueológico y protección *in situ* de grandes objetos de hierro concretados

con éxito, el desarrollo del proceso de corrosión debido a los cloruros cesa y la velocidad de corrosión se reduce a niveles más razonables, donde los métodos "convencionales" contra la corrosión pueden operar de forma eficiente.

Un examen de diferentes técnicas de limpieza de cloruros ha mostrado que el paso limitante en la liberación de los mismos está en la difusión hacia fuera de los productos de corrosión de los iones Cl^- . Por tanto, la velocidad de liberación de Cl^- de los artefactos marinos hacia la disolución de limpieza sigue las leyes de difusión. El conservador sólo puede alterar uno de los términos de esta ecuación con el fin de aumentar la velocidad de extracción de cloruros: el coeficiente de difusión del ion Cl^- en el producto de corrosión. La difusión del Cl^- se produce a través de los poros llenos de disolución, y cuanto más espacio haya entre los poros presentes en la película de corrosión los iones serán transportados más rápidamente.

El método más efectivo para aumentar la difusión de Cl^- en los productos de corrosión será aquel que consiga incrementar la porosidad de éstos. Esto se puede llevar a cabo por conversión de los compuestos de hierro en un estado denso. La reducción de los compuestos de hierro se realiza por varios medios, siendo la electrólisis uno de los más comúnmente empleados. Con este método se consigue un gran aumento del coeficiente de difusión del ion Cl^- en los productos de corrosión.

En el método de electrólisis, la principal reacción que ocurre en la película de corrosión del hierro es la reducción de $FeO(OH)$ al estado denso de magnetita Fe_3O_4 . Básicamente, el funcionamiento es el de una pila electrolítica, consistente en un recipiente con una disolución conductora o electrolito, un cátodo (el objeto de hierro) y un ánodo. Los electrones requeridos para esta reacción son proporcionados por la aplicación de un voltaje externo desde una fuente de alimentación.

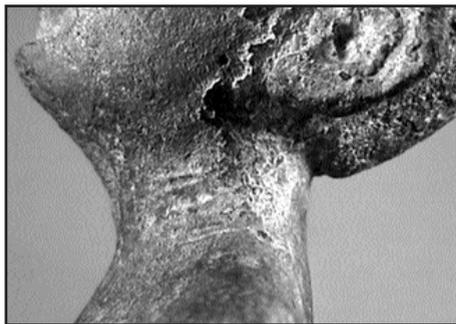


Fig. 13: Detalle de una escultura de bronce afectada por la corrosión "selectiva" de cloruros

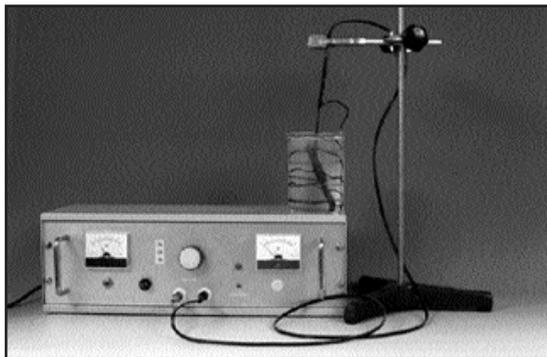


Fig. 14: Ejemplo de pila electrolítica

En este Proyecto se pretende actuar sobre aquellos parámetros del sistema que permitan optimizar el método electrolítico para la conservación de objetos de hierro de origen subacuático, adaptándolo a las necesidades del Departamento de Conservación del C.A.S. Estas actuaciones se acometerán sobre: 1/ las variaciones en las densidades de corriente: bajas (1 a 5 mA/cm²), moderadas (rangos en el entorno de 10 mA/cm²) y altas densidades de corriente (rangos en el entorno de 50 mA/cm²), y 2/ la eficiencia de distintos electrolitos y a diferentes concentraciones: NaOH, NaSO₃-NaOH, Na₂CO₃.

Desarrollo de una técnica de consolidación de fases minerales sobre objetos de hierro de procedencia subacuática

En colaboración con la Universidad de Cádiz y a partir de los trabajos de investigación realizados sobre "la optimización de los tratamientos de estabilización de objetos metálicos de procedencia submarina" se derivan una serie de conclusiones de gran utilidad en el tratamiento de dichos objetos, a saber: 1/ las transformaciones en las fases mineralógicas como indicador del proceso de decloruración, 2/ la verificación de la eficacia de bajas intensidades de polarización y 3/ el establecimiento de una técnica de análisis mediante electrodo selectivo para controlar el proceso de estabilización.

El desarrollo de esta investigación ha propiciado nuevas posibilidades de actuación en la optimización de estos tratamientos. Así, la consolidación de las fases minerales grafitizadas que retienen la capa externa de los objetos arqueológicos es el objetivo de este proyecto que pretende demostrar la eficacia y compatibilidad de esta consolidación con el posterior tratamiento de decloruración electrolítica.

Los objetivos generales marcados para este proyecto son:

- Determinar un sistema eficaz de consolidación de las fases minerales grafitizadas en los objetos metálicos de hierro de procedencia marina a través de la capa de concreción externa.
- Establecer un sistema estándar de tratamiento para la conservación curativa y restauración de objetos de hierro de procedencia marina.
- Determinar un sistema de consolidación de las fases minerales grafiti-

zadas en los objetos de hierro compatible con la desconcreción y el tratamiento de decloruración electrolítica.

En el desarrollo de estos objetivos generales se han realizado las siguientes actuaciones: 1/ recopilación bibliográfica sobre la técnica descrita en el proyecto "Desarrollo de una técnica de consolidación de fases minerales sobre objetos de hierro de procedencia subacuática", 2/ recogida de material de hierro de procedencia marina susceptible de ser tratado y puesta en práctica de un sistema de consolidación de las fases minerales con silicato de etilo, 3/ Ensayos de impregnación del material seleccionado con silicato de etilo en campana de vacío, 4/ ensayos de impregnación del material seleccionado con silicato de etilo a presión ambiente, 5/ ensayos de impregnación del material seleccionado con silicato de etilo por aspersión, 6/ ensayos de desconcreción electrolítica del material consolidado, 7/ ensayos de desconcreción mecánica del material consolidado, y 8/ ensayos de decloruración electrolítica del material consolidado.

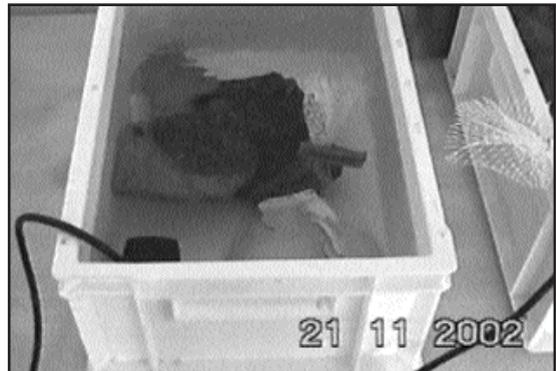


Fig. 15: Ensayo de impregnación con silicato de etilo a presión ambiental sobre una amalgama de materiales silíceos y metálicos

Como resultado de estas actuaciones, se trabaja actualmente en el estudio de los objetivos parciales centrados en valorar: a) la compatibilidad del tratamiento consolidante y el proceso de difusión necesario para la estabilización mediante baja polarización del objeto metálico, b) el grado de penetración y la consiguiente eficacia del producto consolidante mediante diferentes técnicas analíticas aplicadas sobre una serie de objetos tratados, y c) las posibilidades de desconcreción mecánica o electrolítica de los objetos metálicos consolidados.

Bibliografía

MEUCCI, C., GALLARDO, M., GONZÁLEZ, M. J. (1999): "Plan de Usos del Centro de Arqueología Subacuática (CAS) del IAPH", *PH Boletín* 32, 110-115.

**EL CENTRE D'ARQUEOLOGIA SUBAQUÀTICA
DE CATALUNYA (CASC)**

Xavier NIETO
Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya
Pedret 95, 17007 Girona
xnieto@gencat.net

Antecedentes

El mes de agosto de 1894 unos buzos que se dedicaban a la pesca del coral en la zona del Cabo de Creus, informaron al señor Romualdo Alfarás, que era corresponsal de la Asociación Artístico-Arqueológica Barcelonesa, de que habían encontrado una serie de jarras en Cala Cativa (Port de la Selva –Girona). Unos días más tarde el Sr. Alfarás contrató a estos buzos para que le extrajeran lo que él consideró los restos de un barco griego o romano. Se dan en esta operación diversas circunstancias que nos permiten incluirla entre las más antiguas excavaciones arqueológicas subacuáticas realizadas en Europa y no en el grupo de las meras operaciones de recuperación. Alfarás era, para la época, un arqueólogo y además con una responsabilidad en cuanto que corresponsal de la asociación mencionada. El producto de la excavación, 43 ánforas enteras y fragmentos de otras 19, fue depositado en una institución arqueológica y actualmente, una parte, se conserva en el Museo de Arqueología de Cataluña. La actividad se hizo con una finalidad de investigación histórica y la prueba es que el propio Alfarás publicó en el boletín de la asociación (ALFARÁS, R., 1894) lo que sin duda es, para la época, una memoria de excavación en la que el autor describe los trabajos y los materiales extraídos (RAURICH, X., 1994).

Conviene prestar atención a dos detalles. Uno, el título del artículo que publica Alfarás: *Pesca de ánforas* y el otro, que al año siguiente se efectuó una nueva extracción de ánforas, que ya no cogió desprevenida a la maquinaria del Estado; los objetos, en cumplimiento de la legislación vigente, fueron subastados según consta en un edicto de la Ayudantía de Marina de Cadaqués ya que estas ánforas eran los restos de un naufragio de propietario desconocido y por lo tanto, en cumplimiento de la antigua normativa del mar, debían ser subastados y el beneficio repartido entre el hallador y el Estado. Ésta ha sido una práctica en uso hasta bien entrado el siglo XX, al igual que lo ha sido el considerar como una “pesca” la extracción de restos arqueológicos subacuáticos y no como una excavación arqueológica.

Desgraciadamente esta primera excavación fue un hecho esporádico y fue necesario esperar hasta mediados del siglo XX para que se despertara un cierto interés científico por la arqueología subacuática.

El perfeccionamiento por parte de Cousteau y Gagnan del regulador de presión variable permitió que, acabada la Segunda Guerra Mundial, la

inmersión subacuática se fuera consolidando como una actividad, entre otras cosas, deportiva y que, un creciente número de personas, tuviera acceso de manera fácil y económica al fondo del mar.

Cataluña fue pionera en esta actividad y en 1954 se crea en Barcelona el Centro de Recuperación e Investigación Submarina (CRIS), el primer club de inmersión español, tras el que irían surgiendo los centenares existentes actualmente en nuestro litoral.

La Costa Brava, por su proximidad a la frontera, por la tradición en las actividades de inmersión, por la extrema belleza de sus fondos atrajo, desde el inicio de la práctica de la inmersión, a gran cantidad de turistas submarinos. Por otra parte, las características climatológicas y topográficas de esta zona, la convierten en extremadamente peligrosa para la navegación y permiten que los restos de los naufragios queden visibles sobre las rocas del fondo marino y no ocultos por la arena. Todas estas circunstancias facilitaron que el rico patrimonio cultural subacuático que se había acumulado desde la prehistoria sufriera un rápido deterioro.

No es ahora el momento de establecer cuál es la causa y cuál el efecto, pero lo cierto es que convivieron un escaso, prácticamente nulo, interés de los arqueólogos por este patrimonio cultural, una falta de acciones institucionales y un afán de pesca de recuerdos submarinos, cuando no una explotación comercial de los restos arqueológicos, todo lo cual produjo y sigue produciendo un inmenso expolio, sin paralelo en la arqueología terrestre, hasta tal punto que a principios de los años 80 un documentado trabajo periódico cifraba en más de 5.000 millones de pesetas, de la época, el valor de lo extraído ilegalmente y vendido en el mercado negro, únicamente en la Costa Brava, una franja costera de unos 100 km de longitud. Actualmente y después de realizada la carta arqueológica subacuática de Cataluña y comprobado que más del noventa por ciento de los 760 yacimientos arqueológicos subacuáticos catalanes, hasta ahora catalogados, han padecido, en mayor o menor grado, actos de expolio; creemos que el valor de aquello expoliado de la Costa Brava entre los años 50 e inicios de los 80 del siglo XX duplica, como mínimo, aquella cifra de 5.000 millones.

El número de naufragios es limitado y ya se ha perdido una inmensa cantidad de yacimientos arqueológicos, imprescindibles para conocer el papel jugado por la navegación en nuestra historia, lo cual es grave en cualquier país y especialmente en uno mediterráneo.

Afortunadamente existieron excepciones y las acciones llevadas a cabo para la preparación del III Congreso Internacional de Arqueología Submarina, celebrado en Barcelona en 1961, y las propias actas del congreso, son una prueba. Este congreso tuvo el gran valor de poner en contacto a la incipiente arqueología subacuática española con la realidad internacional y ser una llamada de atención para las instituciones. En él se puso de manifiesto y así se recoge en las conclusiones la necesidad de: armar una nave española para esta actividad, crear un centro dedicado a la arqueología submarina, regular y estrechar la relación entre arqueólogos y submarinistas, entre otras.

Fue necesario esperar a 1981 para que la Diputación de Girona creara un departamento específicamente dedicado a arqueología subacuática; a 1982 para que el Ministerio de Cultura creara su Museo y Centro Nacionales de Investigaciones Arqueológicas Submarinas y a 1992 a que el Centre d'Arqueologia Subacuàtica de Catalunya dispusiera del *Thetis*, un barco útil y específicamente acondicionado para la práctica de esta actividad. El tercer voto del congreso de Barcelona, el referente a la relación entre arqueólogos y submarinistas es todavía hoy un tema pendiente (NIETO, X., 1984).



Cala Sant Vicenç. Una colaboración con el Consell Insular de Mallorca ha permitido la localización y excavación de un barco datado a finales del siglo VI a.C.

Pero un nuevo camino se había iniciado en el congreso de 1961, aunque en un principio y durante excesivo tiempo, las realizaciones no fueron más que fruto del voluntarismo de personas concretas. Hay que recordar que el CRIS contó con una sección dedicada a la arqueología que, en su inicio, fue dirigida por el doctor Eduardo Ripoll Perelló y que, en aguas de Girona, las actuaciones de Miguel Oliva Prat, como director del Servicio Técnico de Investigaciones Arqueológicas de la Diputación de Girona y de Federico Foerster Laures, darían lugar en 1972 a la creación de lo que se denominó como Patronato de Excavaciones Arqueológicas Submarinas de la Provincia Marítima de Gerona.

Durante esos años se realizaron numerosos trabajos entre los que cabe destacar el iniciado por el CRIS en el llamado pecio de Palamós y especialmente los llevados a cabo directamente por el señor Foerster, desde 1960 en los pecios de Illa Pedrosa, Punta Salinas, Sa Tuna, Sa Nau Perduda, La Clota, Los Ullastres y Cap del Vol y que se prolongaron durante los años sesenta y setenta.

Fueron años de escasez de todo y a pesar del pomposo nombre del patronato, el cual era básicamente un órgano representativo formado por más de veinticinco miembros elegidos en función de su cargo en el aparato político y administrativo del momento. De hecho el patronato se reunió en escasísimas ocasiones, no contaba con presupuesto propio, ni personal, ni medios y los trabajos pudieron llevarse a cabo gracias: por una parte, al tesón del señor Foerster, que dedicaba a la arqueología los fines de semana y el tiempo que le dejaba libre su profesión en su despacho de Barcelona, y por otra, a los escasos medios que el doctor Oliva, como director del Servicio Técnico de Investigaciones Arqueológicas de la Diputación de Gerona, podía reservar para esta actividad.

A finales de los setenta se produjeron hechos trascendentes: por un parte, el fallecimiento repentino del doctor Oliva; por otra, los cambios de toda índole que conllevó el final de la época franquista y por otra, el punto álgido que alcanzó el expolio arqueológico subacuático en la Costa Brava y que era de dominio público.

En 1981 la Diputación de Gerona creó una plaza de arqueólogo subacuático y la incluyó en su tradicional servicio de arqueología que había pasado a llamarse *Centre d'Investigacions Arqueològiques de Girona*. La importancia del hecho va más allá de la existencia de un técnico exclusivamente dedicado al patrimonio cultural subacuático, ya que ésto es la consecuencia de un cambio de planteamientos que conlleva la implicación de la administración pública de manera estable en la arqueología subacuática.

En un momento en el que ni tan sólo existía una legislación clara sobre la conservación de los restos arqueológicos subacuáticos, cuando se entendía que la diferencia esencial entre arqueología subacuática y recuperación era que una entregaba las ánforas recuperadas a un museo y la otra no; y cuando la extracción incontrolada de ánforas era una proeza de la que presumir en los clubes de inmersión y un motivo de orgullo, se consideró que las tres líneas de acción prioritarias en Girona serían: La creación de un estado de opinión favorable hacia la conservación de este patrimonio. La creación de un equipo humano y material que permitiera el desarrollo de la actividad. La realización del inventario de los yacimientos arqueológicos gerundenses, convencidos de que era la herramienta básica para la protección.

El mismo año 1981 una primera excavación en Sa Tuna (NIETO, X. 1983), con la ayuda directa de algunas arqueólogas del equipo de la Madraque de Giens permitió adaptar a los medios disponibles una metodología de trabajo largamente experimentada en otras excavaciones y comenzar a formar un equipo de trabajo, todo lo cual se ampliaría y perfeccionaría en 1983 en el yacimiento Rosas II que sería el lugar en el que una docena de arqueólogos realizaría las prácticas de un completo e intensivo curso teórico y práctico. Especialmente importante en estos inicios fue la favorable acogida de esta actividad en los medios de comunicación, lo cual se reveló como algo enormemente efectivo, ya que se pudo ir desmontando la imagen de que hacer arqueología subacuática era sacar ánforas de mar; se fue creando un estado de opinión; y los políticos pudieron comprobar la aceptación social de su iniciativa.

El curso de 1983 presentó diversas características que conviene poner de manifiesto ya que fueron síntomas de aquello que ocurriría durante la década siguiente: aunque el curso surgió de una iniciativa de una institución de ámbito provincial, en realidad pretendía un objetivo a nivel de toda Cataluña y buena prueba de ello es, que un criterio básico para la selección de los participantes fue que participaran alumnos residentes en todas las comarcas costeras catalanas con el fin de que posteriormente pudieran convertirse en elementos dinamizadores de la arqueología subacuática a lo largo de toda la costa y por ello, el incipiente *Servei d'Arqueologia del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya* tuvo un papel relevante en el curso. Este

curso marca por lo tanto el nacimiento efectivo de lo que nueve años más tarde se crearía formalmente, mediante un decreto publicado en el diario oficial, como *Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya*, pero que en realidad venía actuando de hecho como tal centro desde aquel curso de 1983 (NIETO, X. 1992).

Pero probablemente el síntoma más preocupante fue que, acabado el curso, las promesas de apoyo institucional para desplegar a los participantes por la costa no se cumplieron, pero lo peor fueron las causas. Se hizo patente, no a nivel político, sino a nivel técnico, una cierta oposición hacia esta nueva actividad aduciendo que en un momento incipiente de la organización autonómica de la arqueología y con medios escasos, los esfuerzos se habían de concentrar en la arqueología terrestre. Se cometieron dos errores: precisamente por que se estaba organizando, la arqueología de Cataluña era el momento justo de, con una visión de futuro, incluir a la arqueología subacuática en esta nueva organización y el otro error, que más bien era una excusa, sería argumentar que la arqueología subacuática es una actividad cara.

1984 y la excavación Culip IV

Entre 1984 y 1988 se llevó a cabo la excavación del yacimiento Culip IV. No entraremos en aspectos científicos ya conocidos (NIETO, X. *et alii* 1989) y (NIETO, X., PUIG, A.M. 2001) para centrarnos en cuestiones de estrategia. Dada la situación de la arqueología subacuática catalana y los síntomas que se apreciaban, Culip IV pretendió ser un grito de socorro, se quiso poner de manifiesto el valor científico de esta actividad oponiendo resultados a los argumentos de los que intentaban presentar la arqueología subacuática como una actividad deportiva y aventurera, de sol y playa, dedicada a la pesca de ánforas. Se pretendió dar continuidad a la formación de arqueólogos subacuáticos que se había iniciado el año anterior y se pretendió, con la colaboración de los medios de comunicación, ir creando un estado de opinión favorable, tanto para la protección del patrimonio como para asegurar la continuidad de la actividad. Afortunadamente, la que entonces se llamaba Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, creyó en el proyecto y con una importantísima aportación económica vino, por una parte a dar un apoyo moral a la actividad y por otra, a evitar que el proyecto muriera por falta de medios.



Culip VIII. Excavación iniciada en 2002 de un barco un cargamento en ánforas Haltern 70.

Afortunadamente Culip IV pudo alcanzar la mayoría de los objetivos científicos y estratégicos y la Unión Europea nos confió la celebración en Cataluña, en 1988, de uno de sus cursos intensivos de arqueología subacuática. Estos prestigiosos cursos internacionales, que se mostraron enormemente eficaces, pero que desgraciadamente ya no se celebran, fueron otro importante apoyo moral para la incipiente arqueología subacuática catalana. A Culip IV siguió Culip VI en 1988-1990 (PALOU, H. *et alii* 1998): y Les Sorres X en 1990-1991 (RAURICH, X. *et alii* 1992).

En octubre de 1992, después de nueve años de existir de hecho y por una decisión política que superó la oposición de algunos arqueólogos funcionarios de la administración, y probablemente aquí hay que buscar la causa del retraso, apareció publicado en el *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya* el decreto por el que se creaba el *Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya* (CASC).

El Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya (CASC)

El CASC se situó orgánicamente como una sección del Servei d'Arqueologia (NIETO, X. 1993) de tal modo que el organismo responsable de la arqueología catalana lo era tanto del ámbito terrestre como del acuático.

Se dan en este planteamiento dos matices peculiares y diferenciados de la tradición europea en este campo:

- La arqueología subacuática no se estructura como una actividad independiente de la arqueología terrestre, todo lo contrario se potencia una íntima colaboración. A esta filosofía responde el hecho de que en el momento de dotar al CASC de una sede se decida construir un edificio que albergue tanto a la arqueología terrestre como a la subacuática.

- Se entiende la arqueología subacuática no como una actividad exclusivamente relacionada con el mar, la navegación y los barcos, sino como una actuación sobre el patrimonio cultural sumergido, o sería más propio decir sobre el patrimonio cultural húmedo. Se generan así dos tipos de actividad, por una parte aquella que podríamos llamar con toda propiedad arqueología subacuática y que tiene una connotación técnica relacionada con la problemática que presenta la excavación, conservación y restauración del patrimonio cultural que puede encontrarse en el mar, en un río, en un pozo o en una capa freática y otra actividad, que denominamos arqueología náutica que tiene una connotación científica relacionada con la investigación del comercio, el tráfico, la navegación y la arquitectura naval.

Se configura así el CASC como un organismo técnico que aporta personal, infraestructura y conocimientos especializados para colaborar en actuaciones en yacimientos terrestres con presencia de agua. También es un organismo de soporte de aquellos equipos de trabajo de universidades u otros centros que desarrollen su propio proyecto de investigación de arqueología náutica. Es también el CASC un organismo de gestión y un centro de investigación del patrimonio cultural subacuático de Cataluña.

Todo lo anterior obliga a disponer de: un depósito centralizado de máqui-

nas, instrumentos, equipos y herramientas adecuados; un laboratorio especializado en restauración y conservación de materiales arqueológicos húmedos, especialmente en aquellos de naturaleza orgánica; una biblioteca especializada.

Con estos medios el CASC realiza dos tipos de trabajos: Gestión del patrimonio cultural subacuático de Cataluña e Investigación científica de este patrimonio.

La compra en 1992 del barco *Thetis* dio movilidad al equipo de trabajo y permitió dar nuevos ímpetus a la labor de inventario de los yacimientos, trabajo que ya se había iniciado en 1981 con escasos medios.

Se consideró que el instrumento esencial para la gestión del patrimonio era el inventario, lo más completo posible, de los yacimientos, de sus características y de su estado de conservación, lo cual permitiría elaborar una estrategia de gestión.

Esta carta arqueológica se convirtió en la herramienta que permitió programar las actuaciones de los años siguientes:

- Actuaciones de urgencia. En aquellos yacimientos con riesgo de deterioro debido a causas naturales, como la erosión, o antrópicas.
- Arqueología preventiva. En aquellos lugares que quedarían afectados por obras públicas, especialmente construcción de puertos o regeneración de playas.
- Investigación. La carta arqueológica permitió detectar aquellos yacimientos más rentables desde el punto de vista científico.

Este planteamiento teórico no siempre fue posible llevarlo a la práctica en todas partes de la forma deseada debido a numerosas razones: la compleja legislación y el reparto de competencias sobre el mar y la costa entre organismos muy diversos de la administración central y autonómica; la falta de hábitos y de experiencia en este campo y la falta de medios económicos, fueron algunas de las causas, pero este trabajo permitió pasar de los 175 yacimientos conocidos a finales de 1991 a los 730 inventariados al finalizar el proyecto.

La Carta Arqueológica Subacuática de Cataluña

Se entendió la carta arqueológica como una herramienta imprescindible, no como un fin en sí mismo, sino como un medio para la gestión del patrimonio (NIETO, X., RAURICH, X.1997).



Vista parcial del laboratorio de conservación del CASC con las cubas de desalado y las de conservación de materiales orgánicos mediante impregnación con PEG

Cataluña se extiende, en la costa mediterránea, entre la frontera con Francia y algo al sur del Ebro, con una longitud de costa de aproximadamente 550 kilómetros. Esta costa está, desde el punto de vista administrativo, dividida en 13 comarcas que abarcan las antiguas provincias de Girona, Barcelona y Tarragona. Partiendo de esta realidad geográfica se elaboró un proyecto de actuación a realizar en cuatro años y que partía de unos condicionantes:

- Los medios disponibles. Si bien en cuanto a infraestructura material, se disponía de una embarcación y medios suficientes, desde el punto de vista humano las carencias eran evidentes: únicamente dos arqueólogos y un patrón y un mecánico para la embarcación.

- La continua destrucción del patrimonio cultural subacuático, lo cual nos obligaba a compaginar los trabajos de inventario con actuaciones tendentes a la protección de yacimientos concretos.

- La falta de información sobre la realidad arqueológica subacuática de Cataluña. Ante esta realidad cabían dos posibilidades: la primera hacer una catalogación exhaustiva, lo cual aparte de utópico, nos pareció peligroso ya que mientras dedicábamos mucho tiempo a una comarca en las otras continuaba la destrucción del patrimonio. La segunda posibilidad, que fue la elegida consistió en inventariar lo más evidente, de manera que en un tiempo aceptable, cuatro años, pudiéramos tener una visión global y una red de colaboradores en la costa, conscientes de que la elaboración y mantenimiento de la carta arqueológica no acaba nunca y que en los años sucesivos, aunque con menor intensidad, deberíamos insistir en zonas geográficas concretas.

- El objetivo último de la carta arqueológica no era la investigación científica, sino dotar a la administración pública de un instrumento de gestión. Por ello no podíamos establecer marcos cronológicos o temáticos restrictivos y se decidió que toda prueba arqueológica debía ser documentada.

- La falta de experiencia. El barco *Thetis* se había comprado el 28 de diciembre de 1991 y después de unos meses de reparaciones y adecuación, en el mes de junio de 1992 iniciaba sus actuaciones en el Alt Empordà.

Se eligió el Alt Empordà ya que era una comarca en la que en los años anteriores, desde el organismo de la Diputación de Girona, ya se había llevado a cabo de manera sistemática la fase previa de recogida de información procedente de la bibliográfica, de pescadores y de submarinistas lo cual permitía actuar ya en el mar en zonas concretas previamente identificadas. La otra comarca elegida para el año 92 fue el Tarragonés y por diversos motivos: uno para actuar fuera de las comarcas de Girona haciendo presente la actuación arqueológica subacuática en el sur de Cataluña; por el evidente interés arqueológico de la zona y por la existencia de un proyecto de construcción de un puerto deportivo en la fachada marítima de la ciudad de Tarragona.

En 1993 se actuó en dos comarcas de la mitad norte de Cataluña: el Maresme y la Selva y dos al sur: el Montsiá y el Baix Ebre. Las razones de elección de estas comarcas concretas eran el nivel de información previa

existente y el deseo de hacer presente la existencia de la actividad arqueológica a lo largo de toda la costa, lo cual permitía ir creando un estado de opinión y crear una red de colaboradores a lo largo de toda Cataluña.

Las comarcas del Barcelonés, Baix Llobregat, Garraf y Baix Penedés ocuparon la campaña de seis meses en el mar desarrollada durante 1994.

Al año siguiente los trabajos se concentraron en el Baix Empordá y el Baix Camp.

La metodología de trabajo que se estableció para llevar a cabo este proyecto constaba esencialmente de cuatro fases: 1.- Documentación previa. 2.- Confrontación de las informaciones. 3.- Trabajo de campo. 4.- Obtención de resultados.

1.- La documentación previa procedía de diversas fuentes: informaciones proporcionadas por pescadores, submarinistas, historiadores, etc. Recogida de topónimos y "talasónimos". Bibliografía. Estudio del marco geográfico (cartografía, fotografía aérea, climatología, etc.). Archivos históricos. Carta arqueológica terrestre. Se mostró enormemente fructífera la catalogación de los materiales arqueológicos depositados en colecciones públicas y privadas y la introducción de las informaciones en una base de datos informática ya que los objetos arqueológicos se fueron agrupando por cronologías, por tipos y formas, definiéndose unos puntos geográficos concretos que debían ser prospectados. Se pudo comprobar cómo materiales arqueológicos dispersos en ocho o diez colecciones públicas y privadas, situadas en los cuatro puntos cardinales de Cataluña, procedían de un mismo lugar con lo que se podía identificar un yacimiento.

2.- La confrontación de las informaciones se realizó mediante la contratación de un arqueólogo durante dos meses, el cual se desplazaba a una comarca concreta para llevar a cabo unos trabajos *in situ*: contrastaba y completaba la documentación previa. Establecía una relación personal con los informadores y con ellos establecía un calendario para que en el momento en que el barco *Thetis* acudiera a la comarca pudieran acompañarnos a las zonas y a los yacimientos que debían ser prospectados. Durante esta fase se producía una difusión de la noticia de que en breve tiempo se llevarían a cabo trabajos arqueológicos subacuáticos en la comarca, por lo que a la llegada del *Thetis* al puerto era frecuente que curiosos, pero también informadores, acudieran al puerto convirtiéndose el barco en un óptimo centro de recogida de informaciones.

3.- Durante el trabajo de campo se pretendió alterar lo mínimo posible el yacimiento, por lo que los objetivos eran: constatar que efectivamente existía un yacimiento. Situarlo sobre una carta náutica. Obtener una primera aproximación a su cronología. Saber de qué tipo de yacimiento se trataba. Conocer su estado de conservación. Los sondeos arqueológicos se limitaron al máximo y sólo se realizaron cuando la observación superficial del lugar no era suficiente.

4.- La obtención de resultados se materializaba en una base de datos informatizada, en realidad cinco bases de datos interrelacionadas: una para los

yacimientos, otra para los materiales, y otras para la bibliografía, la documentación gráfica y los datos de los colaboradores relacionados con cada yacimiento y los depositarios, públicos o privados de cada objeto se recogen en sendas bases de datos.

La explotación de resultados

Si durante los años del 1992 al 1995 dedicamos prácticamente el ciento por ciento de nuestro esfuerzo a la elaboración de la carta arqueológica, a partir del año siguiente, el porcentaje de tiempo y medios dedicado a esta actividad ha ido decreciendo progresivamente, pero sin desaparecer esta actividad, al tiempo que han ido aumentando las actividades derivadas de la explotación de las informaciones obtenidas de la base de datos.

La carta arqueológica facilita:

1.- *La protección del patrimonio.*- A partir de la carta arqueológica se dispone de información para elaborar los preceptivos informes de impacto ambiental en casos como la construcción o dragados de puertos, la regeneración de playas o el enterramiento de emisarios. Se pueden establecer zonas de riesgo arqueológico e introducir las medidas correctoras en las obras públicas o privadas que se lleven a cabo en el medio acuático. Actuaciones de este tipo se han llevado a cabo en los últimos años en Port Bou, Roses, l'Escala, Begur, Blanes, Castelldefels, Torredembarra, Tarragona, Amposta, Tortosa y ampliación del puerto de Barcelona.

Se puede actuar en yacimientos que corren el riesgo de destrucción como consecuencia de fenómenos naturales, especialmente la erosión marina. El Francàs, Cala Galladera, Port Lligat son ejemplos de este fenómeno detectados a partir de la carta arqueológica.

El yacimiento de Torre Valentina o el Presido son sin embargo ejemplos de excavaciones de urgencia en yacimientos que corrían el riesgo de desaparecer como consecuencia del expolio.

2.- *La investigación científica.*- Los medios económicos, humanos y técnicos para la práctica de la arqueología subacuática son muy limitados, lo que nos obliga a rentabilizar al máximo los esfuerzos, obteniendo los mejores resultados posibles. La carta arqueológica nos permite elegir, entre todos los yacimientos conocidos, aquellos que tienen un más alto interés científico y entre ellos, aquellos que por sus características de profundidad, ubicación, etc., requieren un menor coste para llevar a cabo la investigación. Del estudio de la carta arqueológica han surgido los proyectos de excavación que desarrolla el CASC en los últimos años: la excavación del poblado neolítico de la Draga en el lago de Banyoles y la excavación de la infraestructura portuaria romana de Ampurias.

La carta arqueológica en sí misma es un documento para la investigación en cuanto que nos ofrece una visión global, no detallada y precisa, pero sí suficiente para hacer una primera aproximación a la situación náutica de Cataluña (NIETO, X., RAURICH, X. 1996) y (NIETO, X., RAURICH, X. 1998a). Es interesante constatar que aproximadamente el 70% de los

pecios inventariados corresponden a época clásica, pero únicamente hasta el siglo II d.C., a partir de ese momento y hasta el siglo XV, el vacío es casi total con sólo un 5% de los yacimientos, correspondiendo el 25% restante a época moderna. La interpretación de estos datos es compleja ya que obedecen a causas de muy diversa índole; pero estos datos son ya una valiosa información, como lo es la distribución geográfica de estos yacimientos.

3.- *La elaboración de una política de actuación.*- Probablemente el beneficio más importante de la carta arqueológica, en cuanto a la gestión del patrimonio, es que permite establecer una política de actuaciones, una programación a medio y largo plazo a partir de informaciones fiables.

A pesar de todo ello, la elaboración de la carta arqueológica generó un problema enormemente grave. Hemos comentado que las excavaciones de Cala Culip perseguían como objetivo estratégico el hacer patente la validez de la arqueología subacuática como técnica de investigación histórica y ser un grito que permitiera llamar la atención y facilitar la consolidación de la incipiente arqueología subacuática catalana. La televisión, los periódicos, la revistas, contribuyeron poderosamente y probablemente Culip facilitó que en 1992 se creara oficialmente el CASC. Hemos comentado también como el CASC surgió por una decisión política pero con la oposición de algún técnico de la administración arqueológica y la reticencia de algún grupo profesional. En esta situación el CASC se dedicó durante cuatro años a aquello que entonces y ahora se creía como más conveniente, la carta arqueológica, que es un trabajo totalmente silencioso, que aparentemente sólo produce fichas de papel y cifras y letras en un programa informático, sin excavación que extraiga hallazgos espectaculares merecedores de ocupar la atención de los medios de comunicación. En esta situación se encuentra la explicación a que la partida presupuestaria que se creó en 1992 para dotar al CASC y que tenía por nombre Centro de Arqueología Subacuática de Cataluña, pasara a denominarse al año siguiente únicamente Arqueología Subacuática y al siguiente únicamente *Thetis*, al tiempo que su dotación económica se reducía en un 45% el primer año, en un 54% el segundo y en un 91% el tercero, hasta el punto que en 1995 el presupuesto del CASC no alcanzaba ni para obtener los certificados de navegación del *Thetis*.

En el año 1996 el CASC es traspasado al Museo de Arqueología de Cataluña con un presupuesto un 81% superior al que tenía en el momento de su creación en 1992.

Merece la pena comentar este hecho en cuanto que en un momento u otro de su historia se han producido situaciones similares en prácticamente todas las instituciones europeas dedicadas a la arqueología subacuática, ralentizando poderosamente la actividad y llegando en algún caso a producir la paralización y desaparición de alguno de estos centros.

Si bien la arqueología terrestre y la subacuática persiguen un objetivo científico último que es idéntico para ambas: la investigación histórica, los objetivos parciales, la problemática técnica, la gestión administrativa y buena parte de los conocimientos necesarios y la legislación que les afecta

(leyes del suelo para unos y leyes del mar para otros), son diferentes para ambas actividades, lo cual hace que algunos arqueólogos no entiendan a los otros. Si a esto añadimos que los medios disponibles son escasos y se han de repartir y la arqueología subacuática tiene la falsa fama de ser cara y además añadimos que la arqueología subacuática está naciendo y llega en un momento en que la arqueología terrestre lleva siglos consolidándose y ocupando los puestos de decisión en el aparato administrativo y de gestión, no es extraño que se pueda tener la mala fortuna de encontrar a algún arqueólogo con poder de decisión que no se encuentre especialmente predisposto a aceptar que el patrimonio cultural subacuático también es patrimonio cultural.

Otras funciones del CASC

El decreto de creación del CASC especifica que sus funciones son: “el inventario, la protección, la conservación, el estudio y la difusión del patrimonio arqueológico de Cataluña que se encuentra sumergido en aguas costeras e interiores.”

En el cumplimiento de estas funciones las acciones que se llevan a cabo son de muy diversa índole y entidad:

1. Protección

En el campo de la protección se ha puesto especial interés en ir dotándonos de un cuerpo legal que, aunque pensamos que debería ser específico para poder contemplar adecuadamente las peculiaridades del medio en el que se trabaja, de momento se incluye en las leyes, órdenes y normativas generales del patrimonio arqueológico. Algunos detalles diferencian a la legislación autonómica de la estatal y citaremos por ejemplo que en la legislación catalana se contempla que, a diferencia de lo que ocurre con los objetos arqueológicos hallados en tierra para los que se establece que deben ser entregados a una institución pública en un plazo determinado, en el caso de un hallazgo arqueológico subacuático casual, el objeto debe permanecer en el fondo de las aguas y aquello que debe hacerse es notificar a la administración el lugar de hallazgo. Una normativa posterior regula que el hallador debe acompañar a los técnicos al lugar de hallazgo y se establece la indemnización correspondiente. La motivación de esta normativa es doble: por una parte, se evita que los objetos que han permanecido durante siglos en un medio tan particular como el acuático, puedan deteriorarse durante el plazo de entrega a una institución arqueológica. Por otra parte, se evita la picaresca que se venía produciendo ante la localización en un puerto o una playa de una embarcación con submarinistas y material arqueológico, cuando el expoliador aducía que el hallazgo acababa de producirse y que disponía de un plazo para entregar el objeto y que ésta era su intención.

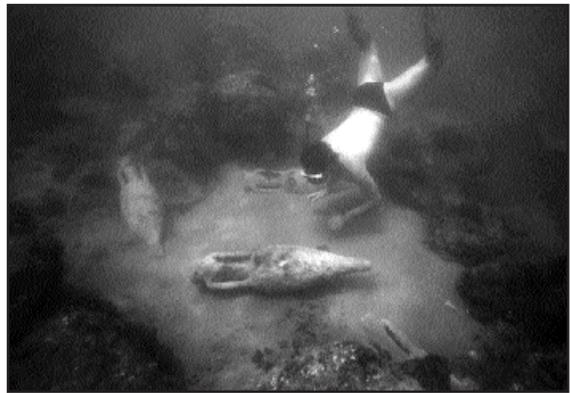
La otra peculiaridad de la normativa catalana es abandonar la idea tradicional de que la diferencia esencial entre arqueología subacuática y arqueología terrestre reside en que una se realiza por submarinistas, con todo lo que comporta, y la otra no. La diferenciación se establece en objetivos científicos y de conservación de materiales. Creemos que no tiene sentido separar

el estudio de un barco hundido en el fondo del mar del de otro encontrado en tierra firme y que, la problemática de conservación que presenta un objeto orgánico hallado durante una inmersión subacuática es muy similar a la de otro objeto localizado en una excavación terrestre cuando ésta afecta a una capa freática.

2. Difusión

Los trabajos de difusión se consideran esenciales pero hasta el momento se han limitado a acciones puntuales: se ha colaborado con el *Aquarium* de Barcelona para el montaje de la exposición “El tesoro eres tú” o con la Fundación La Caixa para “El mar de Ulises”, se ha abierto, por primera vez en España, un yacimiento arqueológico subacuático, el puerto romano de Ampurias, a la visita pública; anualmente se lleva a cabo el ciclo de conferencias “Introducción a la marina tradicional”, pero aquello que no existe es un programa a medio y largo plazo para lograr que la arqueología subacuática llegue al gran público de manera normalizada. Creo que en la base de la situación es conceptual: ¿deben existir museos específicos de arqueología subacuática?, personalmente creo que no, que la arqueología subacuática debe integrarse en los museos arqueológicos, pero ¿deben existir museos específicos de arqueología náutica? A esta pregunta también respondía negativamente hace unos años, pero ahora expreso mis dudas y no por razones esencialmente conceptuales, sino prácticas.

Desgraciadamente, en general, ni la organización ni la mentalidad actual facilitan la integración de estos dos campos de la investigación histórica en un mismo discurso expositivo. Además existen poderosas razones técnicas. El barco, en cuanto vehículo que ha permitido el intercambio de productos y culturas, y en cuanto que es la máquina más compleja a la que puede tener acceso la arqueología y es prueba de la evolución tecnológica de una sociedad, debe ser el elemento en torno al cual gire el discurso expositivo y por lo tanto, ha de estar presente, lo cual conlleva primero la adecuada conservación de los restos y después disponer de los espacios arquitectónicos necesarios, ¿cuántos museos arqueológicos actuales disponen de cuatro o cinco salas de 10, 15 ó 20 metros de largo por 6, 8 ó 10 metros de ancho y con los medios técnicos para exponer correcta y didácticamente varias embarcaciones?. El problema es todavía más complejo, pero no imposible de solucionar y ya existen museos europeos que han solucionado, con éxito, las exposiciones monográficas de arqueología náutica y otros que han optado, también con éxito, por ofrecer una visión más global de la evolución de un grupo



Parque Ampurias. La escasa profundidad, de entre 0 y 2 metros, ha facilitado abrir a la visita pública el yacimiento del puerto romano de Ampurias.

social, mostrando conjuntamente su relación con el medio terrestre y con el acuático.

3. Conservación

Una de las grandes ventajas de la arqueología subacuática es la posibilidad de disponer de materiales arqueológicos, de naturaleza diversa, en muy buen estado de conservación. Cestería, cueros, ropas, maderas, todo el grupo de objetos orgánicos que complementan el panorama de los utensilios utilizados en épocas pretéritas y que son difícilmente localizables en tierra, aparecen normalmente en cualquier excavación subacuática, pero el paso de estos materiales del medio acuático al terrestre, comporta unos cambios físico-químicos que pueden acabar produciendo su destrucción.

No insistiré sobre este tema, dado que en esta misma publicación existe un artículo monográfico de la señora Anna Jover sobre la conservación y restauración llevada a cabo en el CASC, pero cabe insistir en que es irresponsable iniciar una excavación arqueológica subacuática si no se dispone del laboratorio y los medios necesarios para la correcta conservación del material arqueológico húmedo y por esta razón el CASC ha dedicado un esfuerzo importante a dotarse de estos medios.

4. Estudio, investigación y docencia

Acabada la carta arqueológica estábamos en condiciones, por las razones expuestas, de plantearnos el inicio de proyectos que tuvieran como objetivo último la investigación, pero no podíamos ignorar otros aspectos de la situación general de la arqueología subacuática catalana y entre ellos, la relación entre arqueología terrestre y subacuática, que se había mostrado como un condicionante importante. Partiendo de la premisa sobre la unidad de la arqueología terrestre y subacuática en cuanto a sus objetivos científicos últimos y para evitar que pudiera producirse una dicotomía entre ambas actividades, se consideró oportuno elegir, entre todos los yacimientos subacuáticos con un importante potencial científico, aquellos que estuvieran más próximos a la problemática de la arqueología terrestre. Se diseñaron dos proyectos: El yacimiento neolítico de la Draga en el lago de Banyoles y el puerto romano de Ampurias (NIETO, X., RAURICH, X., 1998b).

En ambos existían equipos terrestres que estaban investigando y en ambos era posible iniciar una colaboración que pusiera en evidencia que un trabajo conjunto era posible y que los resultados obtenidos en ambos medios eran complementarios y efectivos para tener una visión más global de la evolución histórica de los yacimientos. He de reconocer que el proceso no fue excesivamente difícil, pero que hubo que hacer, por ambas partes, un esfuerzo de comprensión. El trabajo valió la pena y el yacimiento de la Draga dispone ya de una monografía publicada (BOSCH, A. *et alii*, 2000) en la que, como no podía ser de otro modo, se ofrecen de manera conjunta los resultados obtenidos en la excavación terrestre y en la subacuática, pero el lector atento podrá apreciar entre líneas, los esfuerzos de adaptación mutua. Para Ampurias ya se dispone de un proyecto unitario para el estudio de su fachada marítima, el cual contempla las actuaciones terrestres y acuáticas. Creemos que la norma-

lización llegará en el momento en que el arqueólogo busque la información allí donde se encuentre con independencia de si ha de caminar o nadar.

El barco hundido es el objetivo más específico de un centro de arqueología náutica y por ello en el 2002 se ha iniciado otro proyecto para la excavación de un barco con un cargamento envasado en ánforas Halter 70.

Mientras un yacimiento terrestre tiene una estrecha relación con la zona geográfica en la que se encuentra, esto no ocurre habitualmente en arqueología náutica en donde el marco histórico hay que buscarlo en lugares geográficamente distantes, en el puerto de origen y en el puerto de destino. Esto obliga al arqueólogo náutico a salir de su entorno más próximo para moverse en un marco geográfico que habitualmente es la realidad histórica de todo el Mediterráneo occidental. Por esta razón, el CASC presta una atención especial a las relaciones con otros centros similares del Estado y del ámbito mediterráneo. La participación en proyectos europeos y la colaboración con otras autonomías es un objetivo. En estos momentos la excavación conjunta con el Consell Insular de Mallorca de un barco del siglo VI a.C. y la participación en diversos proyectos europeos como el ANSER (Antiguas rutas de navegación marítimas), son otras de las actividades desarrolladas.

Si bien la docencia no es una función del CASC y ésta corresponde a las universidades, sí que es cierto que este centro dispone de unos medios y realiza unas actividades que facilitan la formación práctica de nuevas generaciones de arqueólogos. Es por ello que cada año se reservan un buen número de plazas para aquellos estudiantes que, poseedores de un título de inmersión, desean introducirse en la práctica de esta actividad. La sensibilidad y la visión de futuro de la Universidad de Barcelona permitió establecer, hace ya cuatro años, una colaboración con el CASC de modo que, la universidad introdujo, por primera vez en España, una asignatura cuatrimestral de segundo ciclo, con el título de Arqueología náutica y subacuática y que aquellos alumnos que lo desearan pudieran, después de un aprendizaje teórico, participar en las excavaciones llevadas a cabo por el CASC.

Creemos que es necesaria esta íntima unión entre universidad y CASC en la confianza de que vaya aumentando el número de los investigadores que ya están realizando trabajos de final de carrera y tesis doctorales sobre el tema que nos ocupa y con la esperanza de que lo antes posible, los equipos universitarios de investigación propongan y realicen sus propios proyectos de excavación arqueológica subacuática, contando con los medios que pueda proporcionarles el CASC.

Un obstáculo importante para el desarrollo de esta línea de actuación surgió en 1997 cuando el Ministerio de Fomento hizo pública una orden por la que se regulaban las medidas de seguridad para la práctica de buceo. En esta orden un artículo establecía que, a todos los efectos, el buceo científico sería considerado buceo profesional. El cumplimiento de esta orden era extremadamente difícil y hasta contraproducente para los biólogos, arqueólogos y otros investigadores que trabajaban en el marco de las universidades y de la administración, entre otras razones porque la necesidad de poseer un título de buzo profesional obligaba a estudiantes universitarios a dedicar tres meses del curso acadé-

mico a obtener el título y a realizar un enorme gasto económico, y todo ello, para obtener un título que les facultaba para desarrollar una actividad que todavía no sabían si les interesaría profesionalmente y para obtener unos conocimientos totalmente inapropiados ya que éstos cursos están pensados para lo que podríamos llamar buceo industrial, con enseñanzas sobre cómo soldar, reparar o cortar un barco bajo el agua y enseñar el manejo de herramientas que son inútiles en un trabajo de investigación científica. Todo esto desanimó a la inmensa mayoría de los estudiantes a iniciarse en este campo y por otra parte, los centros de investigación, ante las dificultades prácticamente insalvables para cumplir la orden, optaron: unos por hacer caso omiso y otros por suspender automáticamente todos los programas de investigación subacuática. En el caso del CASC, la situación se vio complicada por el hecho de que el patrón del *Thetis*, a su vez delegado sindical, no facilitó en absoluto la búsqueda de soluciones efectivas. El resultado fue que durante tres años las actividades del *Thetis* se vieron interrumpidas. Afortunadamente en el verano del 2000, cuando ya los proyectos anuales estaban confeccionados, el Ministerio de Fomento publicó una modificación a la orden de 1997 y el buceo científico volvió a regirse por las normas del buceo deportivo.

Esta norma, junto a otras, como por ejemplo, que para conducir una pequeña barca neumática, pero que sea propiedad de una institución pública, se requiere poseer un título náutico profesional, mientras que esta misma embarcación si está a nombre de una persona física, no requiere años de estudio para obtener un título profesional. Son pruebas de que es necesario dotar al buceo científico de una legislación específica que garantice la aplicación de medidas máximas de seguridad, pero efectivas y realistas.

Los próximos años

La arqueología terrestre, con varios siglos de tradición y experiencia, todavía no ha alcanzado su organización óptima, pero esperamos que la joven arqueología subacuática, nacida en la década de los sesenta del siglo XX, no haya de esperar tanto para llegar a una aceptable normalización, la cual creemos que ha de pasar por una aceptación de la unidad de la arqueología terrestre y subacuática en cuanto a sus fines últimos, pero también por la aceptación de una independencia entre ambas en cuanto a su modelo de gestión y de organización administrativa, lo cual permitirá salvar las peculiaridades de cada una de ellas. En este sentido se hace necesaria una legislación específica en cuanto a la protección del patrimonio cultural subacuático siguiendo los pasos del documento de Sofía de ICOMOS y de la reciente convención de la UNESCO. También es necesario que la arqueología subacuática deje de lado la excesiva preocupación por cuestiones metodológicas y técnicas e incrementamente sustancialmente sus aportaciones científicas y en este ámbito la universidad tiene una importante baza a jugar en cuanto a la formación de nuevos especialistas y al impulso de la investigación en este campo, pero para ello es necesario que las administraciones públicas se doten de los medios humanos y técnicos necesarios para llevar a cabo una correcta gestión y protección del rico patrimonio cultural que se encuentra bajo las aguas.

Bibliografia

- ALFARÀS, R. (1894): “Pesca de ánforas”, *Boletín de la Asociación Artístico-Arqueológica Barcelonesa*, 40, año IV, 89-94.
- BOSCH, A. *et alii*, (2000): “El poblado lacustre neolítico de la Draga, Excavacions de 1990 a 1998”, *Monografies del CASC*, 2, Girona.
- NIETO, X. (1983): “Darrers treballs d’arqueologia subaquàtica a Girona”, *Tribuna de Arqueologia 1982-1983*, Barcelona, 39-42.
- NIETO, X. (1984): “Réplica a R.G.S.”, *Vida Submarina*, Barcelona, 16-17.
- NIETO, X. *ET ALII* (1989): “Excavacions arqueològiques subaquàtiques a Cala Culip, I”, *Sèrie Monogràfica del Centre d’Investigacions Arqueològiques de Girona*, 9, Girona
- NIETO, X. (1992): “Últimas excavaciones arqueológicas subacuáticas en Cataluña”, *II Jornadas de Arqueología Subacuática en Asturias*, Gijón, 53-60.
- NIETO, X. (1993): “El Centre d’Arqueologia Subaquàtica de Catalunya (CASC)”, *II Curso de Arqueología Subacuática*, Madrid, 163-169.
- NIETO, X., RAURICH, X. (1996): “Algunes reflexions sobre la navegació i comerç romà a partir de les dades de la carta arqueològica subaquàtica de les comarques gironines”, *Terceres Jornades d’Arqueologia de les Comarques de Girona*, Santa Colma de Farners, 395-403.
- NIETO, X., RAURICH, X. (1997): “La carta arqueològica subaquàtica de Catalunya: recerca i gestió”, *Tribuna d’Arqueologia 1995-1996*, Barcelona, 21-38.
- PALOU, H. *et alii* (1998): “Excavacions arqueològiques subaquàtiques a Cala Culip, 2, Culip VI”, *Monografies del CASC*, 1, Girona.
- NIETO, X., RAURICH, X. (1998a): “El transport naval de vi de la Tarraconense”, *El vi a l’Antiguitat: economia, producció i comerç al Mediterrani occidental*, *Monografies Badalonines*, 14, Badalona.
- NIETO, X., RAURICH, X. (1998b): “La infraestructura portuària ampuritàna”, *III Jornadas de Arqueología Subacuática. Reunión internacional sobre puertos antiguos i comercio marítimo*, Valencia, 55-76.
- NIETO, X., PUIG, A.M. (2001): “Excavacions Arqueològiques Subaquàtiques a Cala Culip, 3, Culip IV: La Terra-Sigillata decorada de La Graufesenque”, *Monografies del CASC*, 3, Girona.
- RAURICH, X. (1992): “Les Sorres X. Un vaixell medieval al canal olímpic de rem (Castelldefels, Baix Llobregat)”, *Memòries d’Intervencions Arqueològiques a Catalunya*, 1, Barcelona
- RAURICH, X. (1994): “El jaciment de Cala Cativa: notes sobre el primer treball d’arqueologia subaquàtica realitzat a Catalunya”, *Annals de l’Institut d’Estudis Empordanesos* 27, Figueres, 263-271.

**LA CONSERVACIÓN DE LA MADERA ARQUEOLÓGICA
SUBACUÁTICA. MUSEO Y CENTRO NACIONAL DE
INVESTIGACIONES ARQUEOLÓGICAS SUBMARINAS**

Juan Luis SIERRA

Introducción

Por su amplia disponibilidad en cantidad y variedad, y las magníficas propiedades útiles que la madera presenta, ha sido y sigue siendo uno de los materiales más usados por el hombre desde la prehistoria hasta nuestros días.

A lo largo de los siglos, los objetos realizados con madera son incontables. Y no hablamos sólo de objetos artísticos, sino de objetos de uso cotidiano. Así, la madera se ha usado para realizar elementos estructurales y decorativos en arquitectura, realizar vajillas y mobiliario doméstico, aperos de labranza, instrumentos para todo tipo de oficios y tareas científicas, para realizar eficaces medios de transporte terrestres y marítimos, y, cómo no, obras de arte, ya sea como soporte o como materia prima en sí misma.

Su utilización tan abundante y generalizada, ha supuesto que se enriquezca nuestro Patrimonio Histórico en objetos realizados en madera, pero también ha supuesto que se busquen soluciones eficaces para preservarlos. Hasta hace unos años los problemas de conservación venían de la mano de los objetos de madera hallados en entornos terrestres, derivados sobre todo del ataque de organismos xilófagos, las oscilaciones de los valores de humedad y las radiaciones ultravioleta. Sin embargo, las especiales circunstancias que se dan en medios subacuáticos o bajo el nivel freático hacen posible encontrar desde pequeños objetos, como semillas, cabos o herramientas, hasta grandes estructuras como barcos completos, diques portuarios, etc, realizados en maderas u otras fibras vegetales, húmedas o completamente saturadas de agua.

La evolución de nuestros conocimientos y, sobre todo, el desarrollo de nuevos productos, nuevas técnicas y nuevos instrumentos de diagnóstico y tratamiento, además del avance de las técnicas de excavación, ha posibilitado la recuperación y conservación de muchos de estos hallazgos.

Sin embargo, es todavía mucho el camino que queda por recorrer en el campo del tratamiento de materiales de naturaleza orgánica y procedencia subacuática, hasta el punto de que uno de los mayores retos de la arqueología, y en concreto de la arqueología subacuática, es la conservación de los objetos extraídos.

Los objetos arqueológicos de naturaleza orgánica están realizados en maderas o fibras vegetales muertas. Tras su deposición, si el entorno no es

apropiado, los procesos de alteración químicos y biológicos propician que los objetos desaparezcan completamente, devolviendo al medio su masa. Pero en ambientes con grados extremos de sequedad o humedad estos procesos de descomposición se producen con extrema lentitud, debido a la ausencia de agua o a la ausencia de oxígeno respectivamente. Ello propicia que los objetos alcancen un equilibrio estable con el medio y se conserven en el lugar de su deposición original.

Al extraer el objeto de su lugar de deposición, el equilibrio con el medio se rompe, propiciando que el proceso de descomposición se acelere y el objeto se pierda irreversiblemente. En el caso que nos ocupa, los materiales de procedencia subacuática pasan de estar enterrados y sumergidos en agua a estar en un medio aeróbico, con luz y oxígeno, lo que provoca nuevos procesos de alteración y deterioro más acusados, que deben ser controlados si no queremos perder definitivamente el objeto.

A diferencia de materiales metálicos o cerámicos, la conservación de los objetos orgánicos de procedencia subacuática es la más dificultosa y la que más problemas presenta, ya que su composición química y estructural es extremadamente complicada. Presentan alteraciones de su estructura, no son homogéneos y en numerosas ocasiones existen distintos grados de deterioro incluso dentro de la misma pieza. Sus características físico-químicas y mecánicas, los procesos de degradación a los que se ven sometidas, el comportamiento que registran cuando son extraídas y, en fin, la importancia que estos objetos tienen en el campo de la investigación arqueológica son factores que condicionan extremadamente cualquier tratamiento de conservación.

La única manera de evitar daños a los objetos orgánicos por su manipulación durante los procesos de excavación y restauración, es conocer las propiedades de la madera, el deterioro que ha sufrido y los métodos de tratamiento que se pueden aplicar para paliar dicho deterioro.

La madera

Cualquier tratamiento de conservación precisa de un conocimiento profundo de la estructura, composición y propiedades del material que queremos tratar. La caracterización de la madera se realiza mediante análisis micrográficos y químicos, y ensayos físico-mecánicos. Es muy importante saber la clase de madera, y en muchos casos, es crítico conocer la especie para conservar la madera con éxito.

Generalidades

La madera es un material que procede de un organismo vivo, es por tanto un material heterogéneo formado por varios tipos de células que cumplen diferentes funciones en el árbol cuando éste vive. Para comprender mejor la distribución y composición de la madera debemos relacionar su estructura, composición y función.

- Estructura macroscópica.

La madera o xilema (el término botánico *xilema* significa madera), es el

tejido leñoso de los vegetales superiores que conduce agua y sales inorgánicas desde la raíz y también proporciona soporte mecánico. Está formado a partir del crecimiento primario de tallos y raíces de las plantas, y también de la división de las células en el *cambium*, delgada capa especializada en la formación de células, situada entre el *floema* (corteza) y el *xilema*. Esta división da lugar a nuevas células hacia el exterior del tronco en las especies leñosas. En algunas especies, en el xilema se pueden apreciar dos zonas diferenciadas: el duramen, lugar donde la planta va almacenando las sustancias de deshecho, más intensamente coloreada; el interior del tronco, la parte muerta del árbol; y la albura, parte viva más clara, y tamaño muy variable.

El xilema puede contener tres tipos de células alargadas: traqueidas, vasos y fibras. Las traqueidas son células alargadas con paredes gruesas caracterizadas por la presencia de zonas delgadas muy bien definidas llamadas punteaduras.

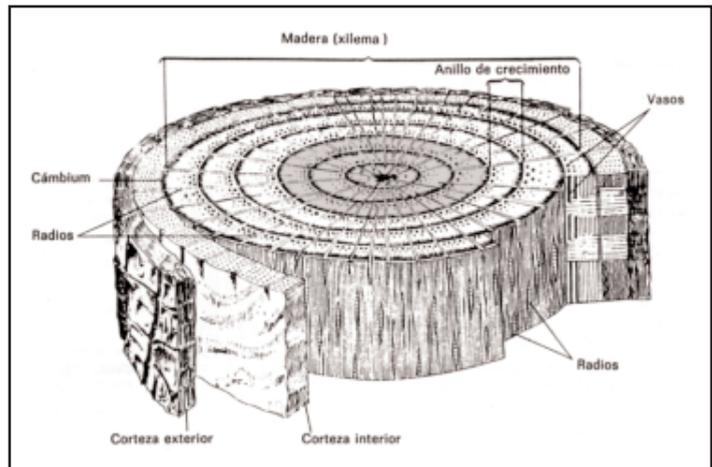
Los vasos son traqueidas especializadas cuyas paredes terminales están atravesadas por uno o varios poros; una serie vertical

de elementos vasculares que forman un tubo continuo se llama vaso. Las fibras son traqueidas especializadas de pared muy engrosada que apenas realizan funciones de transporte y que sirven para aumentar la resistencia mecánica del xilema.

- Estructura microscópica.

Una observación a través de un microscopio o una lupa potente permite observar que la madera está formada por células vegetales, en forma de pequeños capilares con una gruesa pared. En las estructuras leñosas la pared vegetal ocupa la mayor parte de la célula, dejando un pequeño espacio en su interior (el lumen). La pared, vista en sección transversal, aparece formada por capas de diferente composición y estructura de las fibras que la conforman, que se van añadiendo continuamente con el crecimiento. Esta pared está construida por tres capas adyacentes denominadas, del exterior al interior, lámina media, pared primaria y pared secundaria.

- Las células se compactan entre sí uniéndose mediante la *lámina media*, que cementa las células individuales entre sí para formar los tejidos. Es una sustancia amorfa e isótropa, formada por pectina y lignina mayoritariamente.



Detalle del positivo antes de la policromía

- La primera pared celular se denomina *pared primaria*, formada por células en estados precoces de diferenciación. Suele ser muy delgada y las fibras se disponen en ellas formando una sustancia anisótropa.

- La *pared secundaria* se forma en la superficie interna de la primaria. A su vez se subdivide en tres capas diferenciadas en función de la disposición de sus fibras, este hecho es el principal responsable de las propiedades mecánicas de la madera:

* la capa S_1 , delgada, con un crecimiento de fibras en sentido helicoidal, formando ángulo muy abierto (70° a 90°) respecto al eje longitudinal.

* la capa S_2 , gruesa. Las fibras, también dispuestas en hélice, forman un ángulo de hasta 30° o bien algo menor respecto al eje longitudinal.

* la capa S_3 , la más delgada. En algunos casos no existe y de nuevo presentan un crecimiento de fibras helicoidal formando ángulos muy abiertos.

La orientación de las microfibrillas en las distintas fibras de la pared es un dispositivo importante que da fortaleza a las paredes. Las capas S_1 y S_3 son las responsables de la resistencia a la dilatación y compresión transversal de la madera, mientras la S_2 confiere a la madera una alta resistencia a la tracción y compresión longitudinal (40 veces mayor que la transversal).

Las diferencias de estructura de las paredes y capas se deben a diferencias de densidad y de orientación de las microfibrillas, a la presencia de diferentes cantidades de lignina, etc. Entre las propiedades físicas de la pared celular destacamos la elasticidad, fortaleza, resistencia a la compresión, dilatabilidad y permeabilidad.

Estas propiedades se derivan de la gran cantidad de celulosa que poseen, son las propias de ésta; el resto de las sustancias no hacen otra cosa que añadir alguna nueva característica o alterar ligeramente las de la celulosa, que debido a su elasticidad puede resistir considerables dilataciones. La lignina aumenta la resistencia de la pared a la presión, impidiendo que se plieguen las microfibrillas de celulosa.

La mayoría de las células se disponen adosadas longitudinalmente y determinando tres ejes principales de crecimiento -transversal, tangencial y radial- que presentan distintas propiedades mecánicas.

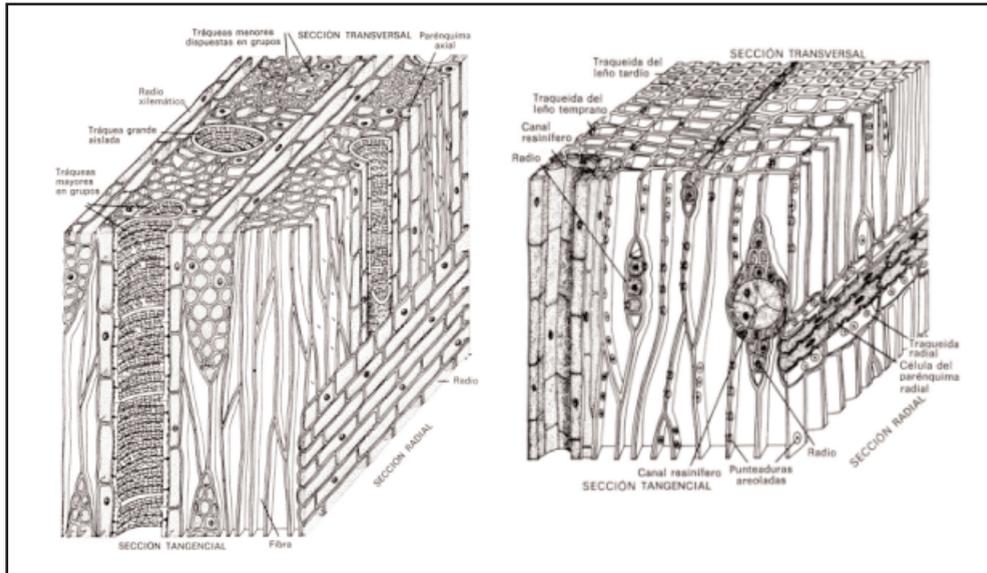
Las especies arbóreas se dividen en dos grandes categorías: de maderas duras y de maderas blandas. Las primeras pertenecen al grupo taxonómico de las Angiospermas, en general a árboles de hoja caduca, frondosas, con vasos leñosos, y numerosos poros en su interior. Ejemplos típicos son el roble y el haya. Maderas blandas, resinosas, o Gimnospermas son árboles coníferos, como los pinos y abetos.

Se diferencian dos tipos básicos de madera: resinosa o frondosa. Si se corta la madera en los tres ejes principales del crecimiento se observa fundamentalmente que:

- la madera de resinosas tiene una estructura más regular, ya que las células de sostén son también las de transporte: son las traqueidas longitudinales (fibras largas que pueden llegar a 3 mm de largo); además se observan cana-

les resiníferos, células de parénquima y traqueidas transversales. Tienen la capa de primavera ancha y punteaduras areoladas en el corte radial.

- La madera de frondosas tiene una estructura más compleja ya que las células leñosas o de sostén (fibras cortas, de 1-2 mm) están diferenciadas de los elementos de transporte denominados vasos. Presentan abundante tejido de reserva que se conoce como parénquima. Tienen la capa de otoño ancha y muy escasas punteaduras areoladas, apareciendo en todos los cortes.



Detalle del positivo antes de la policromía

Esquema de la estructura de las maderas. Según A. Fahn

MADERAS DURAS

MADERAS BLANDAS

FRONDOSAS

RESINOSAS

HOJA CADUCA

HOJA PERENNE

ANGIOSPERMAS

GIMNOSPERMAS

SEMILLAS Y FLORES

SEMILLAS Y CONOS: CONÍFERAS

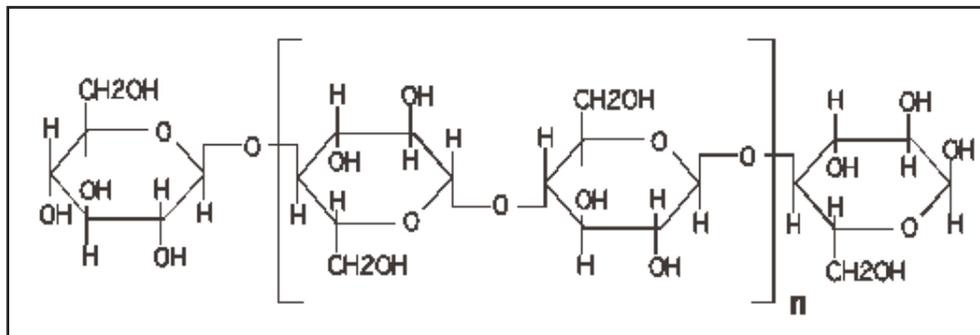
- Composición química de la madera

La madera fresca, no alterada por procesos de degradación, está formada mayoritariamente por grandes polímeros moleculares que se distribuyen en las distintas capas de las paredes celulares, que le confieren sus propiedades químicas y mecánicas.

La celulosa

Es el material orgánico más abundante en la naturaleza y principal componente de las células vegetales. Representa aproximadamente un 40-45 % del peso de la madera. Es un polisacárido constituido únicamente por gluco-

sa polimerizada. Su fórmula general es: $(C_6H_{10}O_5)_n$, donde n varía entre 500 y 15.000. Es un polímero de cadena larga de la b-D-glucosa unidas por enlaces 1-4 glicosídicos que forman como resultado la celobiosa, que repite sus unidades formando la cadena lineal de celulosa.



Cadena de celulosa. La unidad que se repite es la celobiosa

Las moléculas de celulosa poseen numerosos grupos hidroxilo laterales que permiten la formación de enlaces por puente de hidrógeno, alineándose en el mismo eje longitudinal para formar fibrillas elementales (unas 40 moléculas), que luego se unirán paralelamente entre sí para formar microfibrillas que se incorporan a las paredes celulares. Según estudios de difracción de rayos X la celulosa se empaqueta tanto que llega a formar estructuras cristalinas: cerca del 70% del total de celulosa se encuentra cristalizada, y este efecto confiere a la celulosa de las paredes celulares unas propiedades características.

La presencia de 3 grupos hidróxilo en cada anillo de glucosa le conferiría un carácter muy higroscópico, absorbiendo y desorbiendo agua según las condiciones del medio. Sin embargo, resulta ser todo lo contrario; la celulosa es insoluble en agua y en la mayoría de los solventes. Este efecto es debido a que los enlaces por puente de hidrógeno entre las cadenas de celulosa son muy fuertes y numerosos, y el agua no los puede romper. Sin embargo, agentes hidrolizantes como ácidos y bases concentradas, soluciones de sales complejas y metales ejercen efectos disolventes.

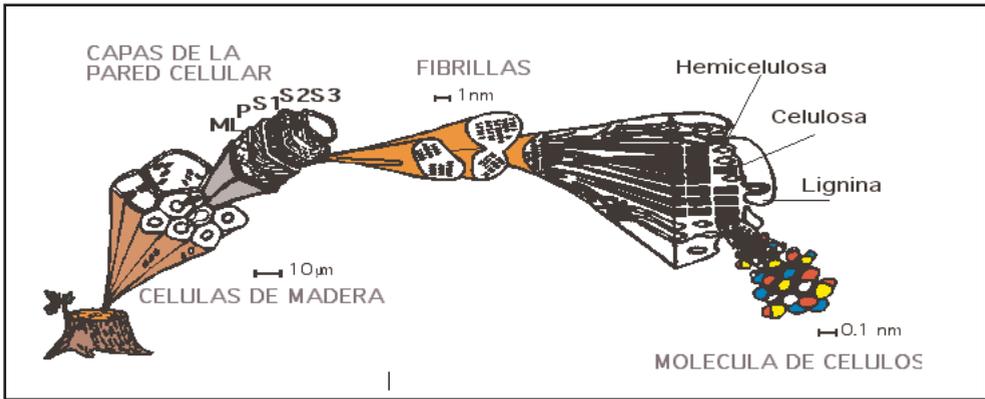
Estructura de la célula de madera según Per Hoffmann

Al ser un polímero de glucosa, sirve de alimento a muchos organismos biológicos que la degradan por enzimas que secretan.

Asociadas a las fibrillas de celulosa se encuentran polímeros de otros carbohidratos (las hemicelulosas).

-Las hemicelulosas y pectinas

Es el segundo polisacárido constituyente de la madera. Entra a formar parte entre un 20-30 % del peso de la madera. Está compuesta por heteropolímeros ramificados con estructura amorfa, predominando en su compo-



Detalle del positivo antes de la policromía

ción las pentosas y hexosas. Poseen menor grado de polimerización que la celulosa, con cadenas de entre 100 y 200 unidades, a menudo ramificadas, por lo que las cadenas son mucho más cortas. Deben su nombre a que originalmente se pensó que eran productos intermedios en la síntesis de celulosa, y aun así se sabe que no es así, el nombre ha persistido.

La composición de las hemicelulosas es muy variada en función de la especie de madera, difieren las concentraciones de los distintos azúcares elementales. Por ejemplo, en coníferas se presenta mayoritariamente el *mano* y en frondosas el *xylano*.

Sirve como adhesivo a las microfibras de celulosa que componen la pared celular, ejerciendo una acción cementante y manteniéndolas unidas.

Una de las propiedades más notables es que son poco solubles o insolubles en agua y sí en disoluciones alcalinas.

Las pectinas son polisacáridos largos y ácidos. Intervienen en bajo peso en la composición de la pared celular (menos del 1%), forman parte de la lámina media después de la división celular. En estado de madurez es reemplazada por la lignina.

Las hemicelulosas y las sustancias pépticas son hidrófilas, por lo que en condiciones de humedad disminuye la cohesión entre las células y la madera pierde resistencia, provocando fenómenos de hinchazón y merma.

La lignina

Diferencia a la madera de los demás materiales celulósicos que produce la naturaleza. Constituye la última etapa del desarrollo de la pared celular. Es una macromolécula tridimensional formada por unidades de alcoholes de fenilpropano, sin una composición estructural definida. Su grado de polimerización es de 100 a 200, según los modos de extracción. Se encuentra en una proporción de entre un 20 y un 25 % del peso total de la madera, y se incrusta en los espacios intercelulares.

Ofrece cierta protección contra el ataque microbiano y da estabilidad dimensional a la madera. La lignina y las hemicelulosas en conjunto man-

tienen unidas las células, soportan la estructura y dan elasticidad y compactibilidad a la madera. La lignina es responsable de la resistencia a la compresión. Su función es cementar las células entre sí y de dar resistencia a la pared celular. Es el único componente de la pared que absorbe luz ultravioleta y por tanto responsable de la fotodegradación de la madera.

La mayor cantidad aparece formando parte de la lámina media (50-100%) y disminuye en dirección al lumen (20-25% en la pared secundaria).

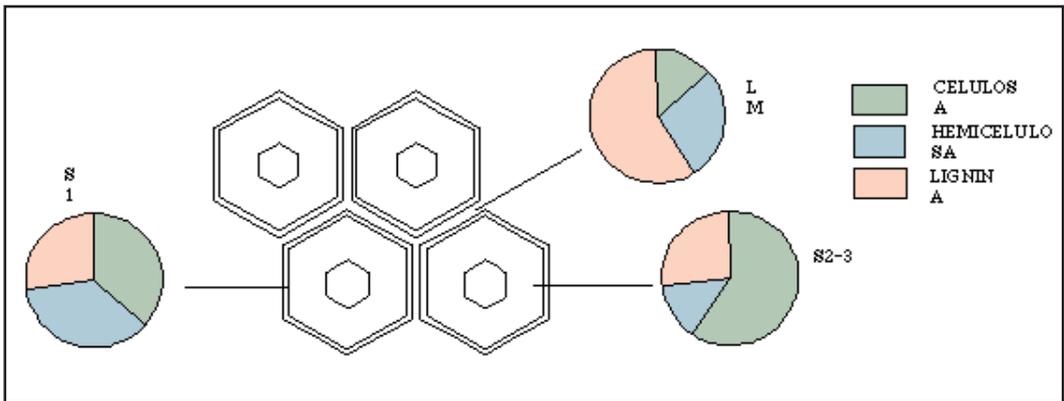
Extractos solubles

Con una presencia relativa de entre un 1-10 %, los extractos están depositados en el lumen de las células y son generalmente orgánicos. Pueden ser gomas, grasas, ceras, resinas, carbohidratos, aceites, alcaloides, taninos, sales de calcio y sílice. La naturaleza de estos extractivos es frecuentemente típica de las especies. Muchos de estos compuestos dan a la madera las propiedades específicas que la pueden hacer más durable frente a fenómenos físicos u organismos biológicos como la presencia de tropolones, compuestos aromáticos altamente tóxicos a los microorganismos y responsables de la alta resistencia de esa madera a la descomposición. También de coloraciones atractivas u otras características estéticas que contribuyen a su clasificación e identificación.

Para la cuantificación de estos componentes se utilizan procedimientos estándar de análisis de madera fresca. Los más usuales son los utilizados por las industrias de obtención de pasta de celulosa y papel (TAPPI, Technical Association of the Pulp and Paper Industry). Se basan en técnicas gravimétricas, por lo que no son del todo precisas, si bien para realizar una determinación no es necesario un equipamiento costoso.

En primer lugar se tritura la madera obteniendo serrín de un tamaño uniforme normalizado, entre 0.246 y 0.417 mm, y sobre él se realizan las siguientes determinaciones:

- Determinación de la *humedad* (contenido de agua en serrín). Las muestras se secan hasta peso constante en estufa a 105° C. Se determina gravimétricamente por la diferencia entre el peso húmedo y seco.



Detalle del positivo antes de la policromía

| CONSTITUYENTE | ESTADO NATURAL | MONOMEROS COSTITUTIVOS | GRADO DE POLIMERIZACIÓN | IMPORTANCIA RELATIVA % |
|---------------|--------------------------------------|------------------------|----------------------------------|------------------------|
| CELULOSA | POLIMERO HOMOGENEO LINEAL CRISTALINO | D GLUCOSA | 500-15000 | 40-50 |
| HEMICELULOSA | HETERO-POLIMEROS RAMIFICADOS AMORFOS | PENTOSAS Y HEXOSAS | 150-200 | 20-25 |
| LIGNINA | AMORFA | FENILPROPANO | 100-200 según modo de extracción | 20-35 |
| EXTRACTOS | DIVERSOS | DIVERSOS | DIVERSOS | 1-10 |

- *Cenizas*. Es el residuo que queda después de incinerarla a $575 \pm 25^\circ \text{C}$; es una medida del contenido en sales minerales de la madera. En el caso de materiales arqueológicos esta determinación es importante para corregir los contenidos de holocelulosa y lignina. Esto es así porque al descomponerse se facilita la penetración de limos y otros cuerpos minerales finos en la madera.

- *Solubilidad* de la madera en NaOH 1 %, sirve para reconocer la degradación que ha experimentado la madera por los agentes fúngicos de putrefacción.

- *Solubilidad* de la madera en Alcohol-Benceno, para dejar la madera libre de sustancias solubles como ceras, grasas, resinas... se determinan los extractos solubles en disolventes orgánicos (ceras, grasas, resinas, gomas, etc.)

- *Solubilidad en agua fría y caliente*. Se extraen sustancias tales como azúcares, pectinas, pigmentos propios de la madera, etc. Este análisis tiene sentido sólo en maderas frescas. En el caso de la madera arqueológica empapada de agua, que ha estado expuesta al agua durante siglos, es más que improbable que se encuentren sustancias solubles en ella.

- *Holocelulosa* (celulosa + hemicelulosas) en la madera, para la determinación de la materia fibrosa que queda después de separar cuidadosamente la lignina del vegetal, con disoluciones de hipoclorito sódico en medio ligeramente ácido. Tras el blanqueamiento de serrín libre de lignina, se puede aislar el residuo de celulosa mediante tratamiento en medio básico (4-5% de NaOH)

- *Lignina*. La determinación de la parte de la madera insoluble en un ácido fuerte (H_2SO_4 al 72%). Por este proceso se hidrolizan los hidratos de carbo-

no, quedando como residuo la lignina, que se determina por gravimetría.

Estos procedimientos fueron diseñados para analizar los constituyentes químicos de una madera fresca no degradada para la producción de celulosa en la fabricación de papel, y no para las maderas arqueológicas saturadas de agua. En efecto, la degradación de la madera en objetos arqueológicos hace que se fraccionen los polímeros constituyentes de las células vegetales. En muchos casos la suma total de las determinaciones excede en un 10 % o no alcanza un valor aproximado del 100%, esto es debido a que en madera degradada los disolventes orgánicos no sólo lixivian los componentes naturales propios de las maderas frescas, ceras, gomas, resinas, etc., sino que extraen también otros fragmentos pequeños de macromoléculas hidrolizadas. Normalmente las valoraciones de extractos suelen ser muy altos para lo que cabe esperar. Sin embargo, un análisis químico tiene un valor indicativo que sirve como aproximación para caracterizar el estado de degradación de la madera.

En maderas degradadas saturadas de agua, el contenido de cenizas y de lignina aumentan significativamente, mientras que el de celulosa cae en la medida en que se incrementa el porcentaje de lignina. Esta variación es mayor cuanto mayor sea el *contenido de humedad máxima* de la madera, siendo ésta el contenido total de agua en el interior de la madera, tras su inmersión en agua en el interior de una cámara de vacío. Este parámetro se determina por secado en estufa a 105° C hasta pesada constante y se mide como porcentaje de agua respecto al peso anhidro de la madera. También es una buena referencia para determinar la degradación que ha sufrido la madera.
$$U_{max} = (P_{húmedo} - P_{seco}) / P_{seco} \times 100$$

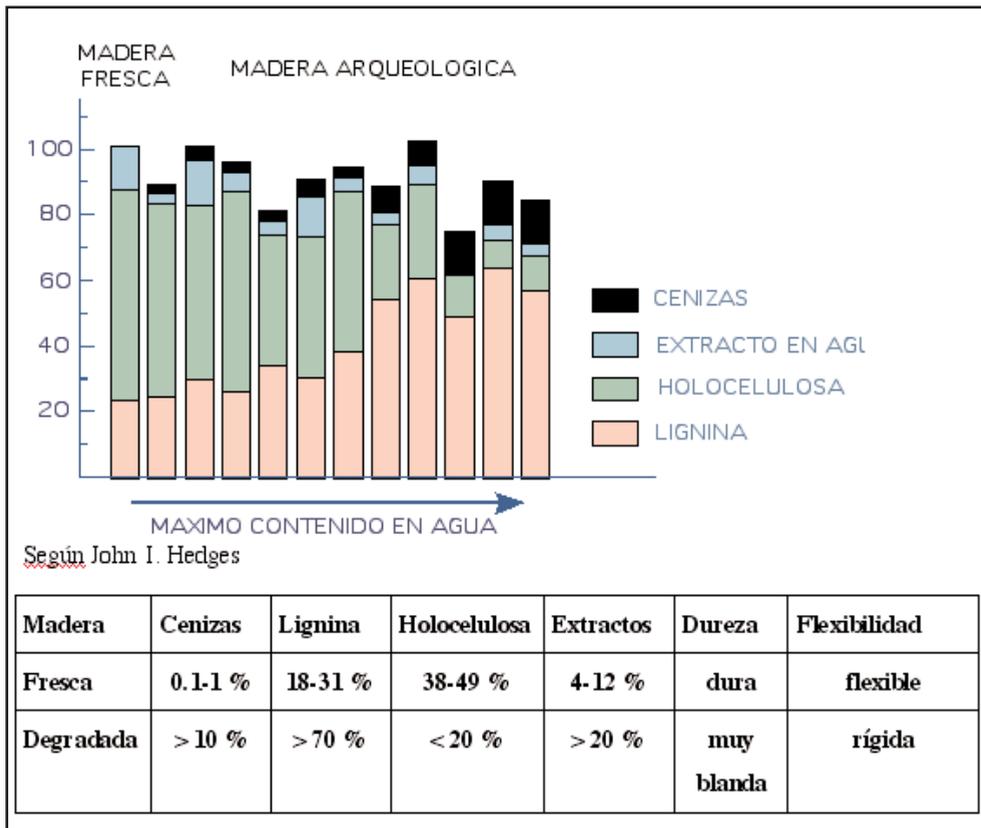
A continuación se muestra un cuadro para observar la acción de deterioro en la composición de la madera.

- Comportamiento físico mecánico.

Existe una correlación entre las propiedades mecánicas y el contenido máximo de agua de la madera saturada. En efecto, al ir degradándose la madera va perdiendo componentes estructurales en la pared celular y estos espacios se rellenan de agua, por lo que este parámetro también sirve de referencia para predecir sus propiedades físico-mecánicas.

Las propiedades físico-mecánicas más importantes que hay que conocer son las siguientes:

Densidad o peso específico: relación de la masa o peso de la madera frente al volumen que ocupa respectivamente. En la madera arqueológica empapada la densidad va disminuyendo al ir perdiendo ésta parte de sus componentes estructurales por hidrólisis y lixiviación de las sustancias solubles en el agua circundante, y se acerca a un valor cero en el límite de su destrucción. Por ejemplo, la madera de higuera con la que están construidas las cuadernas de los barcos fenicios Mazarrón 1 y 2 tienen una densidad teórica de madera anhidra de 0.094 g/cm³ con un contenido en agua de más de 1000 % respecto al peso seco de la madera, 7 u 8 veces mayor que el de la madera sana.



Acción de deterioro en la composición de la madera

Higroscopicidad: como todos los materiales lignocelulósicos, la madera es higroscópica, tiene la facultad de absorber o desorber agua en función de las variaciones de presión relativa del vapor de agua del medio circundante. Como ya sabemos, la madera empapada se deteriora dejando en el límite, un esqueleto de lignina que sostiene el agua embebida en él. La hemicelulosa y la celulosa son destruidas y eliminadas. Según este hecho, en teoría, podría pensarse que la madera empapada se vuelve menos higroscópica cuanto más deteriorada esté (la lignina es hidrofóbica), sin embargo, la experiencia muestra todo lo contrario. Esto parece ser debido a la fragmentación de los restos de celulosa, que en madera sana forman un cuerpo cristalino no higroscópico.

Contracción e hinchamiento: La madera sana, cortada en fresco, tiende a encoger por la pérdida de agua en un 3-6% radialmente, un 5-10% tangencialmente, y un 0.5% longitudinalmente. En el caso de las maderas empapadas las contracciones direccionales y volumétricas son mucho mayores, alcanzando valores de contracción del 75% (encogen tres cuartas partes) respecto a su volumen original. El método de conservación apropiado limitará la contracción.

Debido a la degradación de sus componentes estructurales mayoritarios, lignina y holocelulosa, que confieren a la madera sus cualidades mecánicas, ésta pierde sus propiedades mecánicas de *flexibilidad* y *dureza*, entendida esta última como la resistencia que presenta a ser penetrada por un objeto punzante. La madera queda muy frágil y quebradiza, tanto más cuanto mayor sea el grado de deterioro.

Procesos de degradación

La madera en equilibrio con el medio circundante tiende a fosilizar convirtiéndose en una estructura mineral o descomponerse más o menos rápidamente hasta desaparecer, mediante complejos procesos de degradación, integrándose su masa en el ciclo del carbono.

La preservación o degradación de los materiales depende de dos factores principales: por un lado la naturaleza del material, que puede ser más o menos durable en función de su composición química y estructural; y por otro lado de las condiciones medioambientales en las que ese material es embebido. Ambos factores intervienen conjuntamente en la alteración de la madera, si bien idealmente es posible aislarlos e individualizarlos para analizar sus efectos.

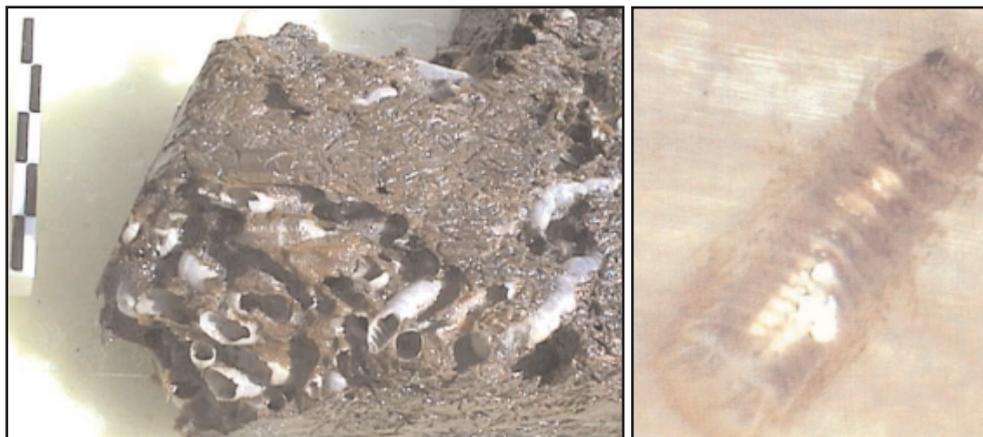
Una vez sumergida, la composición química y la estructura microscópica de la madera se altera, produciendo gran pérdida de componentes estructurales que son reemplazados por el agua circundante, lo que conlleva una disminución de consistencia, mientras se mantiene su volumen, forma y aspecto exterior.

Los principales agentes de descomposición son los físico-químicos y los bióticos. Por los agentes físico-químicos las grandes macromoléculas poliméricas son hidrolizadas en fragmentos cada vez más pequeños y más solubles hasta disolverse en el agua circundante y desaparecer. Entre estos agentes cabe citar la radiación luminosa, el pH, el carácter redox del medio, etc.

No obstante, los principales agentes de destrucción de objetos orgánicos son los bióticos, tanto los macroorganismos (moluscos y crustáceos) como los microorganismos (algas, hongos y bacterias).

Para que la madera se conserve bajo el agua es necesario que se cubra rápida y completamente con elementos minerales del fondo marino, arena, limo, etc. y que se cree un ambiente anaeróbico. Si la madera queda al descubierto se expone al ataque inmediato de moluscos como el *teredo*, que invade el interior la madera perforando canales recubiertos de una capa caliza de 1 ó 2 cm. de diámetro, y no saliendo a superficie. También puede ser atacada por crustáceos como el *Limnoria Lignorum*, que perfora la madera desde la superficie hacia el interior, creando una red tridimensional de canalillos que hacen que la madera quede muy blanda y susceptible de ser erosionada por los materiales en suspensión del agua. Atacan la madera en aguas someras.

Tras los procesos de disolución de los componentes más solubles, desaparecen primero las sustancias como el almidón, azúcar, sales minerales,



Detalle del ataque de *Teredo Navalis* (izquierda) y *Limnoria Lignorum* (derecha)

agentes colorantes, taninos y materiales adhesivos, por mecanismos de hidrólisis; la celulosa de la pared celular se desintegra, dejando una red de lignina que soporta las estructuras celulares de la madera. Incluso ésta se destruye tras un periodo largo de tiempo. Posteriormente, los hongos y bacterias anaeróbicas actúan rompiendo las grandes moléculas de celulosa y lignina, creando fragmentos cada vez más pequeños y, por lo tanto, más solubles. Atacan la pared comenzando desde el lumen, orientándose en la dirección de las fibrillas de celulosa. Como resultado de la desintegración de la celulosa y lignina, los espacios intercelulares e intermoleculares aumentan, y la madera se vuelve más porosa y permeable al agua. Todas las partes deterioradas, todas las cavidades de la célula y espacios intermoleculares se rellenan de agua. Macroscópicamente no se observan cambios en la textura y color, sin embargo a nivel microscópico pueden llegar a destruir completamente las capas de la pared donde la celulosa es el componente mayoritario.

La celulosa casi llega a desaparecer, y la red tridimensional de lignina (más resistente a la degradación) y el agua en ella embebida mantienen la forma de la madera, llegando a conservarse con una extrema debilidad.

Los tratamientos de madera empapada llevan implícito la eliminación del agua contenida en ella, por ello es necesario conocer las dependencias del agua embebida y la estructura interna de la madera.

Para comprender la relación del agua en la madera podemos suponer una madera completamente deshidratada, e imaginar que vamos aumentando la humedad relativa paulatinamente y así observar las fases de sorción del agua. Las primeras moléculas de agua aportadas se asociarían químicamente a los restos celulósicos, infiltrándose entre las fibras de la madera. Se encuentran muy fuertemente unidas a ella, y se disponen orientándose casi como en una estructura cristalina, de hecho, presenta una alta densidad (1.3 g/cm^3). Tras esta capa de 'agua de sorción molecular', se apreciará una segunda etapa en la sorción. Al aumentar la humedad relativa se produce la adsorción física de agua sobre las moléculas de agua sorbidas químicamente, relleno los

espacios interfibrilares. Constituye el agua de ‘adsorción en capas multimoleculares’.

Si seguimos aumentando la humedad relativa, las moléculas de agua aportadas irán a rellenar los capilares, en primer lugar los de menor diámetro, y por último los de diámetro mayor, según la fórmula $r = s V / RT \ln(1/h)$, siendo r el radio del capilar, s la tensión superficial, V el volumen molar del agua, R la constante de los gases ideales, T la temperatura absoluta y h la presión parcial de vapor de agua. Según esta fórmula, conociendo los valores de h , podremos conocer el tamaño de los capilares que se van saturando de agua. El agua que rellena los capilares es conocida como ‘agua capilar’.

Este ‘agua ligada’ de la que hemos hablado hasta ahora, inserta en las fibras de la madera, es la que provoca la merma de la madera si se elimina en el secado. Por el contrario, la eliminación del agua que circula libremente por el lumen de las células, o ‘agua libre’, no supone ninguna alteración dimensional. Conocer estos extremos es importante, ya que en un proceso de

secado podemos tener la seguridad de que, si eliminamos el agua libre, la pieza no va a sufrir daños. Pero en cuanto pasemos de este punto de saturación de las fibras y comencemos a deshidratar eliminando el agua ligada, podremos inducir alteraciones dimensionales, ocasionando una disminución de volumen y una distorsión considerable. Entonces la estructura se colapsa irreversiblemente.

| Humedad Relativa % | Radio Capilar cm |
|-----------------------|---------------------|
| 99,9 | 1,06E-04 |
| 90 | 1,01E-06 |
| 80 | 4,78E-07 |
| 70 | 3,05E-07 |
| 60 | 2,08E-07 |
| 50 | 1,54E-07 |

Tratamientos de Conservación

En primer lugar debo decir que este capítulo no pretende ser un manual de tratamiento de materiales orgánicos saturados de agua, sólo una ventana donde se pueden observar los distintos procedimientos para este fin y su complejidad técnica. Los tratamientos deben ser realizados por técnicos cualificados.

Durante los procesos de excavación, extracción, transporte, almacenaje y tratamiento, los objetos pueden sufrir severos daños ya que, como se ha mencionado, estos objetos suelen haber sufrido profundos procesos de degradación y deterioro, manifestando a menudo una extrema debilidad estructural. Se deben inspeccionar constantemente los objetos, embalajes y envases, el medio en el que esos objetos están inmersos, y controlar eficazmente la proliferación microbiana. Como se aprecia en la ilustración anterior, un objeto de madera empapada sufre sensibles cambios dimensionales durante su seca-

do, cambios que a menudo hacen irreconocible el objeto original. Sin un tratamiento de conservación adecuado, está garantizada la pérdida irreversible del objeto.

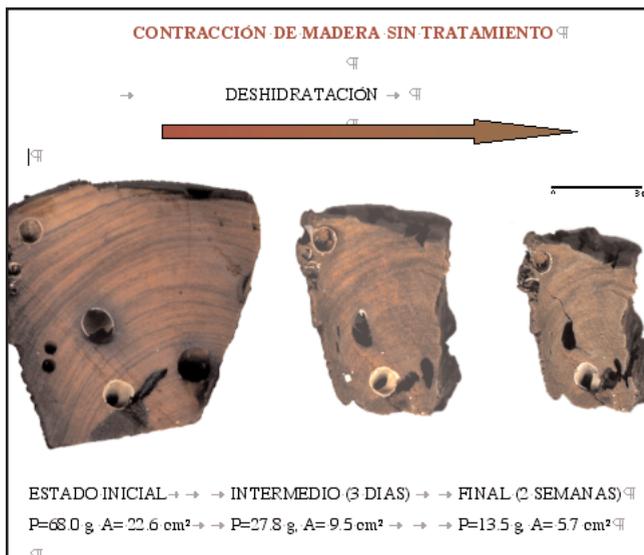
Los métodos adecuados de conservación deben permitir extraer el exceso de agua evitando contracciones sin provocar *estrés* que internamente pueda causar deformaciones y grietas, consolidando la madera y aportando la resistencia mecánica que ha perdido debido a la merma de sus componentes estructurales, para ello debe ser capaz de penetrar bien y dejar una amplia deposición del consolidante. A la vez, deben respetar la textura y color de la madera original para restaurar su aspecto primitivo, no cambiando la apariencia del objeto. Por último, los productos utilizados deben presentar baja toxicidad y ser permanentes en el tiempo y también estables bajo condiciones normales de exposición o almacenamiento, y ser compatibles con otros materiales asociados a la madera o compuestos utilizados en su tratamiento.

Por otro lado, existen motivos éticos de restauración, por lo que los tratamientos empleados deben ser reversibles. Idealmente, tras la aplicación debería permitir la extracción del producto utilizado sin

causar daños a la madera. La reversibilidad es un aspecto deseable de cualquier proceso de conservación. Es más que probable que en un futuro se descubran nuevos y más eficientes tratamientos, por lo que si se aplica un tratamiento reversible sería posible eliminar los materiales empleados antes de aplicar el nuevo tratamiento.

Son muchas las propiedades que se pueden y deben exigir a los métodos y productos de conservación. Realmente no existe un consolidante ideal que reúna todas las características antes descritas, por lo que se debe conocer y adaptar a cada circunstancia dada el que mejor se adecue a los requerimientos del objeto a consolidar.

La selección del tratamiento puede ser una cuestión de estética final, según el color, textura y aspecto general de la madera tratada, de que el tratamiento permita pegar los fragmentos de la madera, de la flexibilidad de la madera tratada, de si tiene objetos metálicos adheridos, de si va a ser sometida a condiciones adversas en su exposición o almacenamiento, etc.,. Todas éstas consideraciones van a influir en la elección del tratamiento para apli-



car. Todos los tratamientos son aplicables en situaciones dadas y todos son alternativas aceptables en función de esas situaciones.

Los diversos métodos de conservación están orientados a conferir una resistencia interna (consolidación), impregnando la madera con diversas sustancias que veremos a continuación, o a disminuir el efecto de la tensión superficial del líquido en la fase de secado.

Consideraciones previas:

Dada la extrema fragilidad de los materiales arqueológicos de naturaleza orgánica de procedencia subacuática, su manipulación es extremadamente compleja. Y ello no sólo desde el punto de vista de los trabajos a desarrollar para su extracción desde su lugar de deposición, en el que se encuentra con unas condiciones de conservación que han permitido la supervivencia del objeto durante un largo período de tiempo, tras un proceso de adaptación al medio.

También, y no menos importante, hay que tener previsto el desarrollo futuro de la vida del objeto. Es decir, de nada sirve realizar una excavación y extracción correcta si no se cuenta luego con un laboratorio bien equipado.

Por todo ello, el primer paso en el tratamiento de cualquier objeto arqueológico de estas características es contar con la infraestructura necesaria para mantener y tratar estos objetos tras su extracción.

Si se cuenta con estos medios, estamos en condiciones de plantearnos la extracción del objeto. Esta debe haber sido preparada con extrema meticulosidad, ya que a los problemas derivados del estado de conservación del objeto se añaden los derivados del trabajo en medio acuático: corrientes, poca visibilidad, necesidad de equipos especiales, utilización de productos compatibles con el agua, etc.

En cualquier caso, la extracción debe realizarse preparando un soporte adecuado al objeto. Este puede ser de múltiples materiales, pero ha de tenerse en cuenta que se va a usar en un medio húmedo, por lo que no valdrán los materiales –escayola, madera...- para realización de moldes o soportes que habitualmente se usan en restauración. El soporte que se realice deberá proteger el objeto al tiempo que aporte la rigidez necesaria para poder trasladarlo y manipularlo con seguridad. Es ocioso apuntar que la manipulación del objeto desde su lugar de deposición al soporte debe hacerse con un cuidado extremo.

Tras la extracción hay que observar unas normas mínimas de conservación preventiva hasta que se acometan las tareas de tratamiento –deshidratación, restauración- apropiadas a cada caso:

1.- Preservar de la deshidratación. Uno de los mayores enemigos de los objetos de madera saturados de agua es la deshidratación incontrolada. Produce agrietamientos y alabeos exagerados en los objetos, que dan lugar a su fragmentación y finalmente a su desaparición. Por ello, el primer protocolo de conservación preventiva que ha de aplicarse es el mantenimiento del objeto en medio saturado de agua, es decir, sumergido, para mantenerlo en las

mismas condiciones de saturación de humedad que tenía antes de su extracción. Para ello deben ser depositados inmediatamente en recipientes herméticos que impidan la evaporación.

2.- Ocultar de la luz directa y proteger de las condiciones aeróbicas de la atmósfera. Los objetos de madera procedentes de medio subacuáticos son muy sensibles a la oxidación, debido a la presencia de oxígeno atmosférico y a la radiación luminosa, y la incidencia de éstos factores producen un ostensible oscurecimiento en la madera que hay que evitar manteniendo el objeto a resguardo.

3.- Mantener en condiciones de asepsia, evitando el crecimiento microbiano. El calor y la luz, junto con el sustrato orgánico que aporta la madera degradada, proporcionan un excelente caldo de cultivo para el crecimiento microbiano, aparición de algas, bacterias y hongos. Evitar este fenómeno que perjudica enormemente al objeto es otra de las precauciones básicas al tratar objetos de madera. Para ello hay dos procedimientos: mantener a baja temperatura el agua (la mejor temperatura es 4° C) en la que se ha depositado el objeto, o añadir un biocida específico. Si el objeto es pequeño se puede conservar en armarios frigoríficos; si se trata de grandes estructuras es necesario emplear enfriadores de agua industriales.

Una vez trasladada al laboratorio:

- Limpieza de suciedades y adherencias. Si se ha de cepillar la superficie de la madera, es recomendable la utilización de brochas o cepillos muy suaves, bajo chorro leve de agua, para evitar arañarla. Frecuentemente la madera va asociada a elementos metálicos de hierro, que por oxidación provoca manchas de óxido férrico en la superficie. Estas manchas se pueden eliminar utilizando agentes complejantes de los iones de hierro, como la sal disódica AEDT (ácido etileno diamino tetra acético), por inmersión o aplicando 'papetas'.

- Si la madera es recuperada del agua salada, tras su limpieza exterior, lo primero que hay que tratar es la eliminación de las sales solubles, ya que de no hacerlo, podrían provocar la ruptura de las células al cristalizar las sales en la superficie de la madera. Los objetos orgánicos se encuentran saturados de agua marina, por lo tanto con un contenido muy alto en sales (hasta 30g/l), mayoritariamente cloruro de sodio. El proceso de desalación se realiza sometiendo a la madera a baños sucesivos de agua dulce, pudiendo seguir su evolución por la medida de la conductividad de la disolución.

Tratamiento de desalación de un asa de espuerta fenicia (s.VII a.C.) procedente del pecio Mazarrón-2. Se puede apreciar que la difusión de sales desde el objeto al baño es muy rápida ($T=30^{\circ}\text{C}$), basta una semana por baño (se desala completamente en cuatro baños, los dos últimos de agua desionizada) para alcanzar un punto cercano a la saturación.

- Parece obvio comentar que antes de iniciar cualquier tratamiento debemos detallar con precisión el estado inicial del objeto, recopilando toda la documentación posible, incluyendo fotografías, dibujos, medidas de dimensiones y pesos, medidas objetivas de color, textura, dureza y aspecto gene-

ral. Estas determinaciones nos serán de mucha utilidad a la hora de evaluar la calidad del tratamiento seleccionado.

Se fotografía y se dibuja calcando a escala 1:1 en láminas muy delgadas y flexibles de lexan (planchas de policarbonato disponibles en hasta 0.7 mm de espesor) para determinar su variación dimensional durante el tratamiento. Esto es esencial ya que las maderas pueden sufrir grandes contracciones al aplicar un tratamiento inadecuado.

Si es posible por el tamaño del objeto, se digitaliza con un escáner acompañado con una tabla estándar de color, en nuestro caso escala Munsell. Este proceso permitirá observar objetivamente las variaciones de color durante el tratamiento si se realizan los escáner con condiciones de luminosidad constante. Mediante un programa informático de tratamiento fotográfico se realiza un histograma sobre un número representativo de píxeles al iniciar y al finalizar el tratamiento. En general, observando los histogramas realizados, que ofrecen valores en una escala de grises que va desde 0 (negro absoluto) hasta 255 (blanco absoluto), se aprecia que la madera tratada por impregnación total oscurece ostensiblemente; la madera no tratada oscurece levemente y la liofilizada clarea ligeramente.

Un parámetro que indica esa calidad del tratamiento respecto al mantenimiento de las dimensiones originales es el ASE (Anti Shrink Efficiency). El ASE se determina mediante la relación entre la diferencia de contracciones de la madera no tratada y tratada y la contracción de la madera no tratada. Así pues, son deseables valores de ASE cercano al 100%, que indica una contracción mínima y por lo tanto una mejor calidad de tratamiento en cuanto a variaciones dimensionales.

$$ASE = [(C^o - Ct) / C^o] \times 100$$

- Siendo: ASE la eficacia anticontracción
C° la contracción volumétrica de la madera no tratada
Ct la contracción volumétrica de la madera tratada



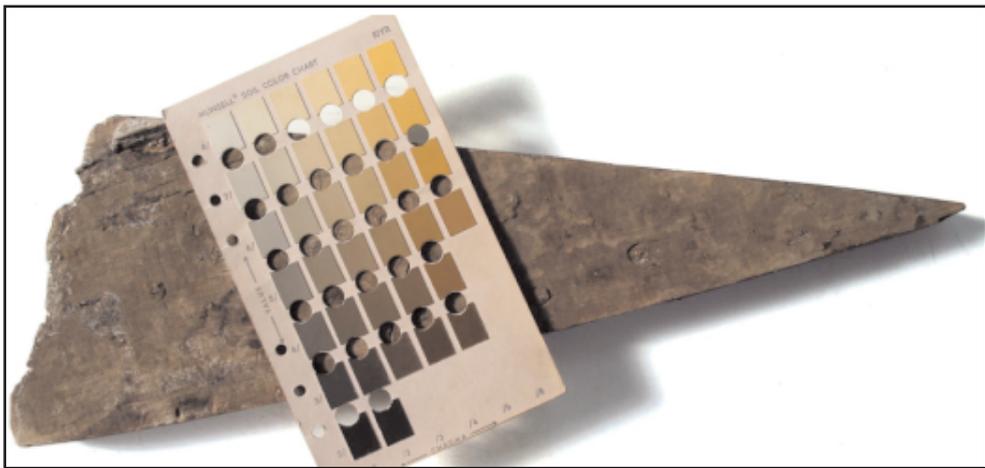
Un ASE = 0 ($C^{\circ}=C_t$) significa que el tratamiento no ha ejercido ningún efecto

$0 < ASE < 100$ ($C^{\circ} > C_t$) son los valores usuales, significa que la madera ha encogido en su tratamiento, pero menos cuanto más se aproxime a 100.

Un ASE = 100 ($C_t=0$) significa que la madera no ha sufrido variaciones dimensionales en su tratamiento, es el valor ideal para cualquier tratamiento

Un ASE > 100 implica que la madera ha aumentado su volumen en el tratamiento.

A continuación se expone una breve historia de los tratamientos y las técnicas actuales más usuales para tratar madera arqueológica húmeda y saturada de agua.



Evolución histórica de los tratamientos

Uno de los primeros métodos usados para conservar madera era saturar el lumen de las células con agentes de relleno. Esta técnica se deriva de la protección superficial que se realizaba a maderas sanas para protegerlas de la intemperie, así se impregnaba con una mezcla de petróleo y un aceite, preferentemente el *aceite de linaza*, posteriormente la madera se secaba lentamente. El problema es que el aceite de la linaza no penetra bien, y se rellenan sólo los poros cercanos a la superficie de la madera. Además se estropea con el tiempo, provocando que la superficie de la madera se vuelva pegajosa y oscura.

La impregnación con *glicerina* fue otro método primitivo, usado a principios del siglo pasado. Se utilizaba pura o en combinación con otros materiales. La glicerina es una molécula que fácilmente reemplaza el agua en la madera y se evapora sumamente despacio. El aire no entra en la madera, así que se disminuye el encogimiento debido a la tensión superficial en la interfase entre el aire y el agua. El problema es que la madera tratada con glicerina se vuelve higroscópica, absorbiendo agua con los cambios de humedad

atmosféricos, lo que le confiere una apariencia húmeda y pegajosa. No fortalece la madera y por consiguiente confiere una protección inadecuada contra el deterioro posterior del objeto tratado.

El *alumbre* es el sulfato de aluminio y potasio. Observando su fórmula molecular, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$, podemos apreciar que cada molécula de alumbre contiene una gran cantidad de agua en su composición (24 moléculas de agua), así que, aunque es una sustancia cristalina sólida a temperatura ambiente, cuando se calienta se disuelve en su propia agua de cristalización. La madera se sumerge en la disolución en caliente y los iones del mineral se difunden en su interior, con el tiempo va adquiriendo la misma concentración que en el sólido cristalino. Cuando la madera se enfría de nuevo, el alumbre recristaliza, incorporando todo el agua en sus propios cristales, cuyo volumen impide encogerse a la madera. El proceso se completa con laca para prevenir la absorción de agua en ambientes húmedos. Es reversible.

Todos estos tratamientos anteriores han quedado obsoletos, mostrándose a continuación las técnicas que se utilizan en la actualidad más comúnmente.

Resina de Melamina

Ya hace cuarenta años, A. Haas y H. Müller-Beck desarrollaron un método de tratamiento de madera saturada de agua con resina de melamina, conocido como método 'Arigal C'. Al dejarse de fabricar comercialmente esta resina, los fabricantes ofrecieron una resina de melamina comparable con el nombre comercial de Lyofix DML, marca comercial registrada de la compañía de CIBA-GEIGY.

La resina de melamina, amino-resinas, son obtenidas a partir de melamina y formaldehído. La primera etapa en la formación de la resina es la producción de trimetilol-melamina. Esta molécula se puede combinar posteriormente con otras de la misma clase por eliminación de agua. Si existe un exceso de formaldehído o de melamina, éstos pueden reaccionar con la metilol-melamina o sus polímeros, con lo que hay infinitas posibilidades de crecimiento de cadenas y de reticulación. La naturaleza y el grado de la polimerización depende del pH, aunque el calor es también necesario para el curado. Las resinas de melamina de bajo peso molecular son jarabes solubles en agua. Las de peso molecular más alto son menos solubles o son insolubles y se presentan en forma de polvos dispersables fácilmente en agua.

Estas resinas se emplean industrialmente en compuestos de moldeo con celulosa, harina de madera o polvos minerales que actúan como cargas; también suelen llevar incorporadas materias colorantes. Se emplean en laminados de madera, adhesivos resistentes al calor, para aumentar la resistencia del papel a la humedad, en tratamientos textiles para proporcionar resistencia a las arrugas, en el tratamiento de cueros, etc.

Para el tratamiento de madera, tienen bajo peso molecular y baja viscosidad, por lo que penetran bien en el interior de la madera, actualmente, en el Roman-Germanic Central Museum de Alemania se están utilizando otras

resinas, el Kauramin® CE 5549 de BASF con mejores propiedades químicas (este no precipita en la superficie de la madera durante el tratamiento) y mecánicas (tiene más elasticidad, por lo que los objetos tratados muestran menos fracturas).

Se trata de un método de polimerización de monómeros, una vez impregnada la madera; éstos condensan formando redes tridimensionales, dejando una materia dura en el interior, confiriendo a la madera unas propiedades mecánicas muy interesantes.

Tras una limpieza mecánica y una desalación exhaustiva con agua desionizada, se reemplaza el agua de la madera con la resina con una concentración del 25% en resina. Para alargar la vida útil de la disolución se añade un 0.5 % (respecto a la concentración de melamina) de trietanolamina, neutralizando los ácidos producidos en la disolución. También se añade al baño un 5% de urea para reducir la viscosidad y mejorar así la penetración de la resina, disminuyendo el tiempo de impregnación, aunque este factor también depende de la temperatura del baño. El pH de la disolución va disminuyendo desde 9-8 inicial hasta 6-7 que es el punto donde la resina va a comenzar a polimerizar, tornando turbia la disolución. Éste es el punto donde hay que sacar la madera, y calentar en un horno a 50° C para completar la catálisis. Tras el endurecimiento de la resina, la madera aún está saturada de agua, que debe ser extraída. Este punto es crucial en el tratamiento ya que la melamina polimeriza formando enlaces irreversibles. Si se seca la madera incontroladamente, pueden ocurrir alteraciones de volumen y agrietamiento de la madera. La forma más fácil de secar el exceso de agua es mediante un secado lento controlado, aunque para obtener mejores resultados se pueden usar técnicas más sofisticadas, secado en horno microondas, o secado por liofilización, que se describirá más adelante.

Como se ha mencionado, esta técnica es irreversible y confiere a la madera un color muy claro. Se deben realizar tratamientos posteriores para oscurecer la madera y darle un aspecto más natural. Sin embargo, la madera así tratada es resistente contra ataques de organismos xilófagos, además el tratamiento confiere a la madera una dureza apropiada para su manipulación posterior.

Tratamiento de impregnación/Polimerización con radiación g

Al igual que la técnica anterior, este proceso consiste en la introducción en la madera de un producto que luego va a ser polimerizado en el interior, polimerización *in situ*, dejando un residuo sólido que confiere a la madera una gran estabilidad dimensional. Este proceso también aprovecha el pequeño tamaño de las moléculas introducidas y la baja viscosidad de las disoluciones para realizar la impregnación, más eficaz en tiempo y extensión.

Previamente se impregna la madera, como en el caso anterior por inmersión en una disolución de monómeros de la resina. Químicamente se consideran dos tipos de aditivos: los solubles en agua, como n-vinyl-pirrolidina o la metacrilamida, y los no solubles en agua, como monómeros de n-butil metacrilato o resinas de poliéster no saturadas. La impregnación previa se

realizará por intercambio directo agua-monómero para los solubles en agua y sustituyendo primero el agua por solventes orgánicos y luego el solvente por la resina para los no solubles en agua. Como catalizador para la polimerización *in situ* de los monómeros se usan los rayos gamma, emitidos por una fuente radioactiva.

Una vez impregnado el objeto se introduce en una cámara de irradiación, donde es expuesto a una fuente de rayos g (gamma). La radiación g es emitida por una fuente de cobalto 60 (un isótopo de cobalto). Es una onda electromagnética como la luz visible o los rayos X, pero mucho más penetrante, capaz de atravesar gruesos materiales, sin producir radioactividad en el material irradiado. Esta radiación es tan energética que al incidir sobre las resinas no saturadas provoca la aparición de radicales libres que tienden a polimerizar. Su alta energía produce alteraciones en el ADN de los macro-microorganismos contaminantes de la madera, impidiendo su crecimiento y proliferación, por lo que también puede ser usado para la desinfección radical de objetos orgánicos.

El control de este proceso se realiza regulando la distancia del objeto a la fuente, lo que determina la intensidad de la irradiación que atraviesa el objeto. Esto sirve para evitar un exceso de temperatura que haga hervir la disolución formando burbujas en el interior.

Se buscó este método como alternativa del uso del polietilenglicol (PEG). Presenta ciertas ventajas sobre el PEG, ya que los monómeros tienen bajo peso molecular, por lo que penetran más y más rápidamente en el interior de la madera, por lo que los tratamientos son mucho más rápidos, y la madera tratada presenta una mucho mayor consistencia que la tratada con PEG.

Sin embargo, la infraestructura necesaria para llevar a cabo estos tratamientos está sólo disponible en centros de investigación nuclear, requiriendo grandes instrumentos, piscinas de inmersión de la fuente radiactiva y enormes medidas de seguridad. Esta técnica se está aplicando desde 1976 en el Centro de Estudios Nucleares de Grenoble (Francia), del Comisariado Francés para la Energía Atómica.

El tratamiento sólo es aplicable a pequeños objetos, debido a las dimensiones de la cámara y a la geometría de la fuente de irradiación. Además, como es obvio, la madera queda embebida en una matriz de plástico, por lo que el proceso es completamente irreversible.

Tratamientos con Polietilenglicol (PEG)

También denominado polioxietileno, poliglicol o glicol de poliéster, el polietilenglicol (PEG) es un material de origen sintético, formado por condensación de etilenglicol u óxido de etileno y agua. De fórmula general $\text{HOCH}_2(\text{CH}_2\text{OCH}_2)_n\text{CH}_2\text{OH}$. Donde 'n' es el número de veces que se repite la estructura básica, formando largas cadenas lineales no ramificadas. Los pesos moleculares bajos (300 - 600) son líquidos a temperatura ambiente, los intermedios (1000-1500) son semilíquidos o tienen la consistencia de vaselina y los más altos (4000-14000) son como materiales cerosos duros a temperatura ambiente

Se usan industrialmente para la fabricación de productos cosméticos y farmacéuticos, como plastificantes y humectantes, y como aditivo en alimentación y fabricación de piensos.

Respecto a su denominación, actualmente se designan según su peso molecular medio, así, el que durante mucho tiempo se ha encontrado en la bibliografía como PEG 4000 es llamado ahora en muchas publicaciones PEG 3250.

El uso de este producto para el tratamiento de conservación de maderas arqueológicas deriva de su aplicación en tratamientos anticontracción de maderas frescas desde mediados del siglo pasado. Los tratamientos se basan en reemplazar el agua del interior de la madera por PEG; el éxito de esta sustancia es que es completamente soluble en agua, por lo que puede rellenar el interior de las células.

El PEG tiene algunas propiedades físicas de las ceras, sin embargo se diferencian de ellas por el hecho de que son completamente solubles en diversos alcoholes y en agua.

El desarrollo del PEG usado para tratamientos de conservación ha sido el primer método fiable para tratar madera empapada. El exceso de agua en la madera se elimina y la madera se consolida en la misma operación.

El PEG 4000 es sólido a temperatura ambiente, tiene un punto de fusión de 53-55° C, ha sido el más usado porque es el menos higroscópico, pero sus moléculas son de gran tamaño, por lo que se ven impedidas para penetrar por los capilares de la madera más pequeños; entonces se puede usar en combinación con PEGs de peso molecular más bajo, por lo tanto, más pequeños y penetrantes.

La mejor técnica para realizar la impregnación es por inmersión del objeto a tratar en un baño de PEG. La madera a tratar se introduce en una disolución de agua y PEG. Automáticamente se crea una difusión del PEG hacia el interior de la madera para igualar las concentraciones dentro y fuera de la madera. Se puede observar la velocidad de la difusión midiendo la densidad del baño, que disminuye al progresar la impregnación hasta alcanzar un equilibrio al 'saturarse' la madera en el baño a una determinada concentración. Progresivamente se incrementa la concentración de PEG (normalmente de 5% en 5%) para aumentar la concentración del baño y también la concentración de PEG en el interior de la madera. Los incrementos en la concentración de PEG dependen de la condición, tamaño, y especie de la madera a tratar.



Esto se hace así para evitar la plasmolisis de las células de la madera (hay que tener en cuenta que la pared celular puede estar muy debilitada) por efecto osmótico. La ósmosis es el paso espontáneo, o la difusión del agua u otros líquidos a través de una membrana semipermeable, que bloquea el paso de las sustancias disueltas pero no el líquido que las disuelve. Se puede interpretar la ósmosis como un efecto de succión de una solución concentrada hacia una solución diluida a través de esa pared semipermeable. La succión no se produce mecánicamente sino que se trata de un efecto producido por una diferencia de energías químicas. Por este efecto, en la fase de impregnación de una madera, mediante inmersión en una disolución concentrada en el agente consolidante, el agua retenida en el interior de las células tiende a difundirse por la pared celular hacia la disolución exterior. Al perder este volumen de agua del interior de la madera, ésta puede sufrir colapso osmótico.

Para disoluciones muy concentradas de PEG de alto peso molecular (p.e. PEG 4000 a más de 60%) será necesario mantener caliente la disolución ya que presentan un límite de solubilidad en agua en función de la temperatura, pero además, hay que tener en cuenta que son termolábiles, es decir, se pueden hidrolizar al calentarlos, por lo que no conviene elevar la temperatura por encima de 60° C.

Cuando se usa agua como disolvente es necesario usar un fungicida como ortofenilfenato sódico, al 0.1% de peso de PEG usado. También es efectivo un fungicida que consiste en 7 partes de ácido bórico y 3 partes de borato de sodio al 1% de peso de PEG en la disolución. Como algicida se pueden usar sales de amonio cuaternario. Para los objetos pequeños, se puede utilizar el etanol como disolvente, ya que se reduce el tiempo de tratamiento, y se obtiene una madera menos pesada y más clara. Cuando se usa alcohol, se debe deshidratar la madera en sucesivos baños de etanol antes de añadir el PEG. Como al usar alcoholes no hay disponibilidad de agua, éstos actúan como biocidas y no es preciso añadirlos en las disoluciones de PEG.

Una consideración importante es el hecho que PEG es corrosivo para los metales, sobre todo el hierro. Este hecho supone una limitación importante para el tratamiento de maderas con metal, en recipientes de metal, y maderas que vayan a estar en contacto con hierro.

En el verano de 2000 se descubrieron en el casco del Wasa, un barco sueco de madera de 700 toneladas, más de trescientas manchas amarillentas por formación de sales de sulfato, sulfuros en su mayoría, e incluso azufre elemental. El sulfuro proviene de la formación de SH_2 en la descomposición de la materia orgánica del lecho marino donde estuvo sumergido el barco. Se calcula que la cantidad de sulfuro presente podría formar 5 toneladas de ácido sulfúrico, en una relación de 100 Kg. al año, lo que indica que la oxidación de los sulfuros está catalizada, probablemente por el hierro de los pernos del casco de madera. El Vasa se conservó por irrigación de PEG de alto y bajo peso molecular durante 17 años. La elevada higroscopicidad del PEG 400 acelera el proceso de oxidación del hierro, por tanto, el empleo de este consolidante ha intensificado los graves problemas en la formación de sul-

fúrico. Actualmente se está eliminando el ácido por aplicación puntual de cataplasmas de bicarbonato, pero se está investigando cómo desactivar el hierro, cómo le está afectando a la madera, y cómo extraer el ácido del interior de la madera

Tratamiento con sacarosa

La sacarosa (azúcar común), como agente consolidante para conservar madera empapada, se desarrolló como una alternativa a los métodos más caros (PARRÉNT 1983, 1985). En la práctica, el procedimiento es idéntico al descrito para PEG, sólo que se usa la sacarosa. Ésta tiene una estructura molecular muy compatible con la celulosa, con un bajo peso molecular (PM=342) que le permite difundirse rápidamente en el interior de la madera. A temperatura ambiente, es muy soluble en agua, cerca del 70%, lo que permite tratamientos sin necesidad de calefacción. Sin embargo, se debe seleccionar un agente antimicrobiano, ya que las disoluciones azucaradas suponen un excelente caldo de cultivo para la fermentación. El Kathon® ofrece buenos resultados, basado en izotiazolinas (5 cloro2 metil 4 isotiazolina + 2 metil 4 isotiazolina) como principio activo. Se recomienda una extrema limpieza de todos los instrumentos empleados, utilizando agua destilada y recipientes estériles y herméticos, un medio libre de polvo y con poco movimiento de aire, medir el pH de la disolución en varios puntos y a varias profundidades, manteniéndolo constante entre unos valores de 8 y 9. Si el pH cae por debajo de estos valores se recomienda la adición inmediata de biocidas y la neutralización de la disolución. Al igual que en el procedimiento anterior, para evitar tensiones osmóticas se añade la sacarosa incrementando la concentración, en pequeños escalones, hasta lograr una concentración del 70%. Posteriormente se seca bajo condiciones de humedad controlada, aunque la acumulación de sacarosa en la superficie de la madera hace que ésta se seque con lentitud, aumentando la eficacia del tratamiento.

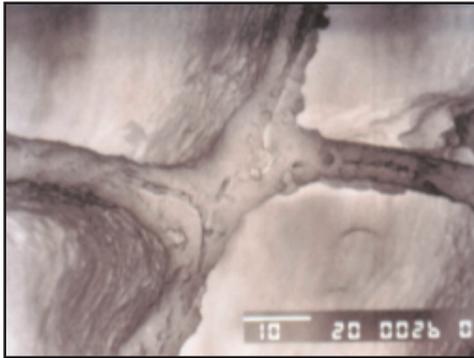
Según observaciones microscópicas (la fotografía expuesta tiene una ampliación x 3500) la sacarosa no se recristaliza en el interior, se adhiere a las paredes celulares formando una masa amorfa. Una vez se seca la madera, se debe almacenar en condiciones bajas de humedad, ya que la madera tratada con sacarosa se vuelve muy higroscópica. La madera no debe exponerse a humedades de más de un 80% debido a la condensación de agua en la madera, que podría lixiviar el azúcar impregnado.

En la ilustración se puede apreciar dos envases conteniendo probetas de madera de 10 x 5 x 1 cm para el estudio del tratamiento con sacarosa. A la izquierda, a la disolución de sacarosa no se le añadió biocida y se puede observar la evolución del CO₂ durante la fermentación, que incluso llegó a fracturar las maderas más degradadas. A la derecha se aprecia la misma disolución con biocida (sales de Cu²⁺).

Tratamiento con Colofonia

El tratamiento consiste en reemplazar el agua de la madera con una resina natural, en este caso resina de pino, también llamada colofonia. Al ser el

agua incompatible con la colofonia, se deshidrata la madera completamente en sucesivos baños de acetona. Se introduce la madera en una disolución saturada de colofonia en acetona a 50° C. Se determina el tiempo de inmersión para cada madera, como siempre, basado en sus propias características. Se extrae la madera y se limpia el exceso de colofonia con acetona. La madera tratada tiene una apariencia ligera, puede encolarse y repararse fácilmente; es fuerte. Este tratamiento puede usarse en madera compuesta con objetos de metal, porque la colofonia no reacciona con los metales. También se puede utilizar etanol como disolvente, o utilizar otro tipo de resinas como consolidantes.



Recristalización de la sacarosa



Envases con probetas de madera

Esta técnica es empleada principalmente para pequeños objetos de madera, por el peligro inherente del uso de disolventes en cuanto a toxicidad, volatilidad y explosión.

Tratamiento con alcohol-acetona-éter

Con esta técnica se pretende rebajar los efectos causados por la tensión superficial de la fase líquida durante el secado. La tensión superficial es la fuerza que mantiene unidas las moléculas de un líquido en su superficie, de manera que es necesaria una fuerza para atravesarla (todos hemos visto un insecto andando en la superficie de un estanque sin hundirse). Estas fuerzas cohesivas de las moléculas del agua entre sí, y las fuerzas adhesivas del agua con la superficie sólida de los capilares, son las responsables de la disminución de las dimensiones de la madera degradada cuando se seca. Al evaporarse el agua, estas fuerzas ‘tiran’ de las paredes hacia dentro provocando el colapso de la estructura. Para evitar este fenómeno se pueden buscar líquidos más volátiles, de menor tensión superficial, como el éter etílico.

El objeto empapado se sumerge en baños sucesivos de alcohol hasta que todo el agua ha sido reemplazada. Se continúa con baños sucesivos de acetona. Cuando todo el alcohol ha sido reemplazado por acetona, el objeto se sumerge en baños sucesivos de éter etílico para reemplazar toda la acetona por éter. Posteriormente, el objeto se seca muy rápidamente introduciéndolo en una cámara de vacío para que el éter volatilice rápidamente. El éter se usa

porque tiene una tensión superficial muy baja, de 0.17 dinas/cm comparada con las 0.72 dinas/cm del agua. Cuando el éter se evapora, la tensión superficial es tan baja que no hay contracciones en la madera. Este método produce una apariencia muy natural, tanto en el peso como en el color de la madera.

El éter es muy inflamable, por lo que se debe tomar precauciones extremas. Se puede realizar una consolidación posterior, ya que al no introducir ninguna sustancia sólida, no se aporta consolidación a la madera. Es por esta razón por la que sólo se puede aplicar para el secado de objetos poco degradados.

Tratamiento con alcanfor-alcohol

Este tratamiento es análogo al método de alcohol-éter. Se reemplaza todo el agua con un alcohol, y posteriormente el alcohol con alcanfor. El alcanfor sublima despacio (pasa de la fase sólida a la gaseosa) sin ejercer ninguna tensión superficial sobre las paredes de la célula. Por consiguiente, la madera no se colapsa, se encoge, o se retuerce. El tratamiento produce una madera de peso ligero, muy aromática, y con un color claro. Este método es sólo factible para tratar objetos pequeños.

Tratamiento con aceite de silicona

Este método ha sido introducido por C. W. Smith y D. L. Hamilton, del Archaeological Preservation Research Laboratory la Universidad A&M de Texas.

Este nuevo método procede de una aplicación de conservación de tejidos empleado en la ciencia médica-forense. El tratamiento con resinas de silicona, aplicable a objetos pequeños de madera y otros materiales orgánicos e inorgánicos (cristal desvitrificado), comienza por reemplazar el agua del interior de la madera con acetona, se puede acelerar el proceso aplicando vacío. Posteriormente se introduce en un baño de aceite de silicona también al vacío. Se usan polidimetilxilosanos con sendos grupos hidroxilo terminales.

En la práctica se utilizan los productos PR-10, PR-12 y PR-14 como los polímeros base de impregnación, en función de su viscosidad, que para materiales orgánicos van desde 2.000 a 20.000 centistokes en función de su grado de polimerización. El agente de enlace (crosslinker) se denomina CR-20, permite que se creen enlaces transversales en la silicona, es un compuesto a base de alcoxisilanos (isobutiltrimetoxisilano con pequeñas cantidades de metiltrimetoxisilano) y metanol, que añadido en un 3%, posteriormente permite la polimerización transversal.

Alcoxicondensación: $R-Si-OH + CH_3O-Si-R \rightleftharpoons R-Si-O-Si-R + CH_3OH$

Una vez limpiado el exceso de silicona se introduce en un horno a 52° C con un catalizador denominado CT-32, a base de compuestos orgánicos de zinc (dibutildiacetato de zinc), que al calentarse se evapora produciendo la catálisis de la silicona.

Catálisis: $R-Si-OH + MeO-Si \rightleftharpoons R-Si-O-Si-R$

El método aporta a la madera una buena estabilidad dimensional, un color muy natural, y una buena resistencia a las condiciones ambientales. El principal problema que presenta este método es que no es reversible, no se puede eliminar la silicona una vez catalizada en la madera.

Tratamiento de liofilización

La liofilización es un proceso que consiste en desecar un producto previamente congelado, lográndose la sublimación del hielo bajo vacío. Es por lo tanto el paso directo del hielo (sólido) a gas (vapor), sin que en ningún momento aparezca el agua en su estado líquido.

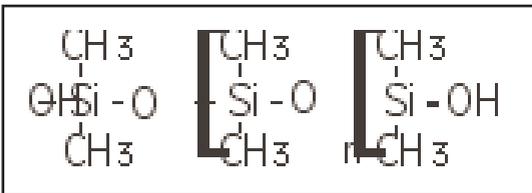
A principios del siglo XX, los científicos franceses Bordas y D'Arsonval y el americano Shackell, descubren la aplicación del principio físico de la sublimación, construyendo un sencillo aparato de liofilización de laboratorio. El gran impulso de este proceso se debe a la fabricación en gran escala de productos para uso farmacéutico, principalmente sueros y plasma humano. Durante la segunda guerra mundial, los bancos de sangre americanos empiezan a producir industrialmente plasma humano liofilizado para el ejército.

En esta época, Fleming, Flarcy y Cain descubren y sintetizan la penicilina. El gran éxito de la desecación del plasma y su buena conservación por liofilización fue rápidamente aplicado a la penicilina y a continuación a muy diversos antibióticos, enzimas, sueros y vacunas a fin de prolongar su actividad terapéutica.

Actualmente se usa en la industria farmacéutica para la preparación comercial de antibióticos, de algunas vacunas y en la industria alimenticia para algunas frutas, muchos productos vegetales y concentrados. La liofilización nos es conocida por una serie de alimentos y algunas medicinas de consumo masivo. Cebollas y ajos, sopas, ciertos cafés, productos medicinales (vacunas, antibióticos), etc., se producen por liofilización. En la industria alimenticia permite conservar el sabor y la textura de los alimentos desecados durante mucho tiempo. En farmacia resulta de crucial importancia, ya que permite también conservar los principios activos, volviendo a sus propiedades originales al rehidratarlos.

Los problemas que tiene esta técnica son de índole económico, ya que se requiere una elevada inversión en instalaciones y equipos, grupos de congelación y refrigeración, cámaras de vacío, condensadores, equipos de control, etc.; también es costoso el proceso por su elevado consumo energético y requiere de personal calificado en la operación y mantenimiento de los equipos; además es un proceso relativamente lento frente a otros procesos de secado. Es por esta razón por la que se aplica esta técnica a productos de gran valor económico, y también se ha empezado

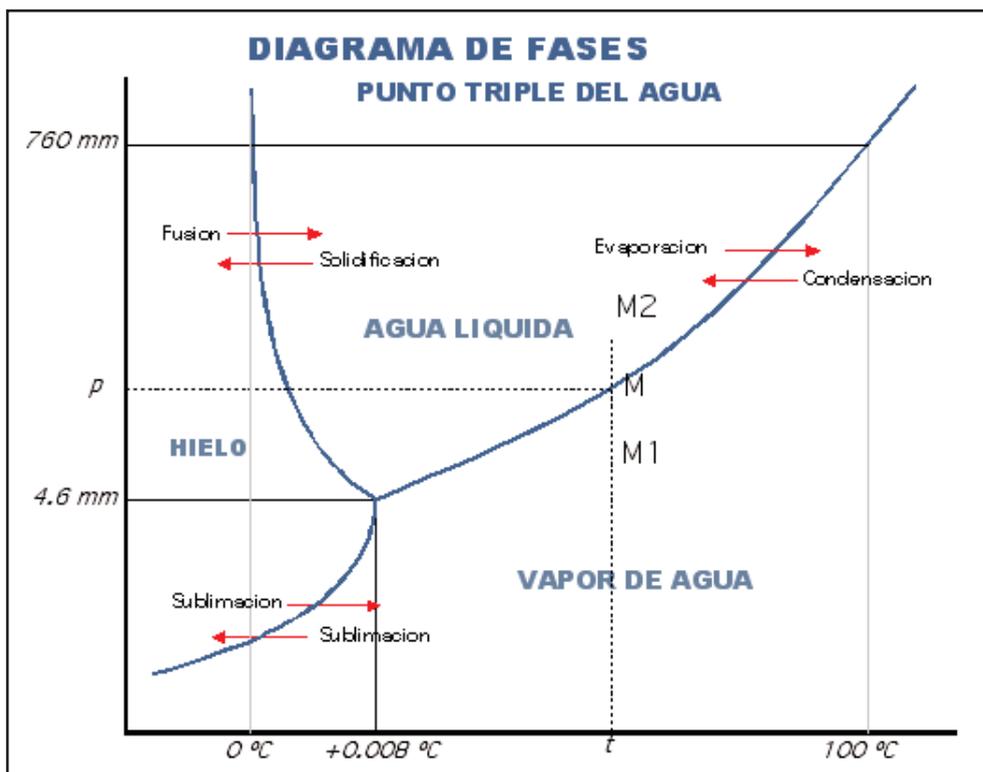
a usar en la conservación de objetos patrimoniales de interés cultural.



En la segunda mitad de siglo comienza a emplearse la liofilización para extraer el exceso de agua de la madera arqueológica empapada de agua. Parece ser un método ideal debido a su gran simplicidad. El agua pasa de estado sólido a gaseoso, salvando la fase líquida, con lo que se evitan los problemas de la tensión superficial del agua en el interior de los capilares vegetales y por lo tanto evita su deformación y encogimiento en el secado.

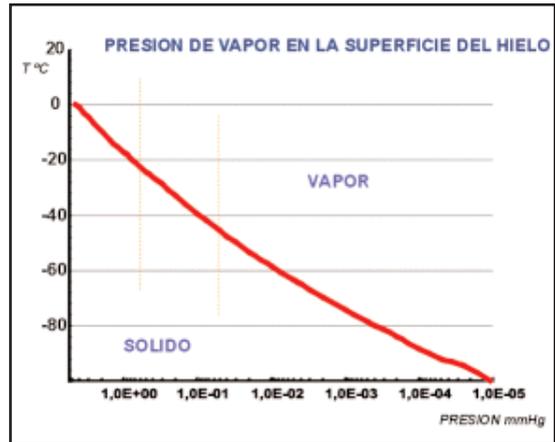
Para comprender la liofilización hay que entender el diagrama de fases de una sustancia. El agua puede encontrarse en tres estados, sólido, líquido y gaseoso, en función de los valores de presión y temperatura. A presión atmosférica pueden coexistir hielo y agua líquida a 0° C en un estado de equilibrio (un vaso de agua con cubitos), o a 100° C pueden coexistir vapor y agua líquida (un cazo con agua hirviendo). Todos sabemos que el paso del agua de la fase sólida a la líquida se denomina fusión y de la líquida a la gaseosa se llama evaporación. Pues bien, por debajo de una presión de 4.6 mm Hg no existe el agua líquida y sin embargo pueden coexistir el hielo y el vapor de agua. Sólo coexisten las tres fases a esa presión y a una temperatura de 0.008° C. Este punto se denomina punto triple. El paso por debajo de esa presión de hielo a gas o viceversa se denomina sublimación. Siempre nos tenemos que mover con presiones por debajo de 4.6 mm Hg para aprovechar el fenómeno físico de la liofilización.

El proceso es endotérmico, es decir, hay que suministrar calor para cambiar de fase. Se denomina calor latente de cambio de fase. En nuestro caso



presión muy precisos, por lo que se puede determinar el punto final del proceso aislando la cámara de vacío del condensador y analizando la subida de presión. Una vez acabado el proceso se rompe el vacío para llevar al objeto seco a presión atmosférica y se deshiela el condensador para obtener el agua líquida procedente del objeto.

Aunque la bomba de vacío puede disminuir más la presión, la liofilización se realiza en el rango de presiones señalado en el gráfico para favorecer que el vapor sublimado de la madera pueda ser retenido por la pared fría del condensador



Existen varios factores que afectan al proceso, unos ligados al proceso en sí, y otros a la naturaleza del material a liofilizar:

1. Acción del agua en el proceso: El agua libre congela, en función del radio del capilar en el que se encuentre, ya que su presión de vapor disminuye en los capilares, según la ecuación:

$$\text{Log } P_0 - \text{Log } P = 2 sV_1/rRT$$

Siendo s la tensión superficial

V_1 el volumen molar del líquido (en el caso del agua 18 cm³)

R el radio de curvatura del menisco: el radio del capilar dividido por el coseno del ángulo de contacto

P_0 presión de vapor normal

P presión de vapor reducida en el capilar

Esto implica que la temperatura de fusión/congelación en un capilar también se reduce:

$$\text{Log } T_0 - \text{log } T = 2 sV_1/rH$$

Siendo H el calor de fusión del hielo

Dando valores al radio del capilar se obtienen valores de temperatura de congelación del agua en el capilar:

| | |
|--------|---------|
| 100 nm | -0.5° C |
| 30 nm | -2° C |
| 10 nm | -5° C |
| 3 nm | -20° C |
| 1 nm | -80° C |

El agua de sorción congela por debajo de -38° C. Cuando congela, aumenta su volumen (9-13%), por lo que se crean enormes presiones. Debi-

do a este efecto, para liofilizar la madera arqueológica empapada de agua hay que tener en cuenta la porosidad de la madera, su superficie interna, su coherencia estructural, y en definitiva y resumiendo las anteriores propiedades, su estado de conservación

2. La química de la pared celular. Por el interior de las células de la madera sana y fresca, corre una disolución rica en nutrientes y productos de desecho que generan las propias células vegetales. Esa disolución interna tiene una función crioprotectora, es decir, protege la planta de la congelación. Respecto a la madera arqueológica empapada de agua pasa algo parecido: los productos de deterioro procedentes de la degradación de la celulosa y lignina pasan a formar parte de la 'disolución' interior de la madera, disminuyendo su punto eutéctico y evitando, en cierta medida, la formación de cristales grandes al congelar.

3. Déficit de la presión de vapor. La capacidad de retención de agua en el interior de la madera arqueológica empapada de agua cambia, disminuyendo el punto de saturación de las fibras. Cuando la madera arqueológica saturada se congela, la presión de vapor del hielo es menor que la presión de vapor del agua sobre enfriada a esa misma temperatura. Esta diferencia en la presión de vapor provocará una migración del agua desde su fase líquida hacia la superficie del hielo, lo que puede inducir una pequeña deshidratación de tejidos durante la congelación.

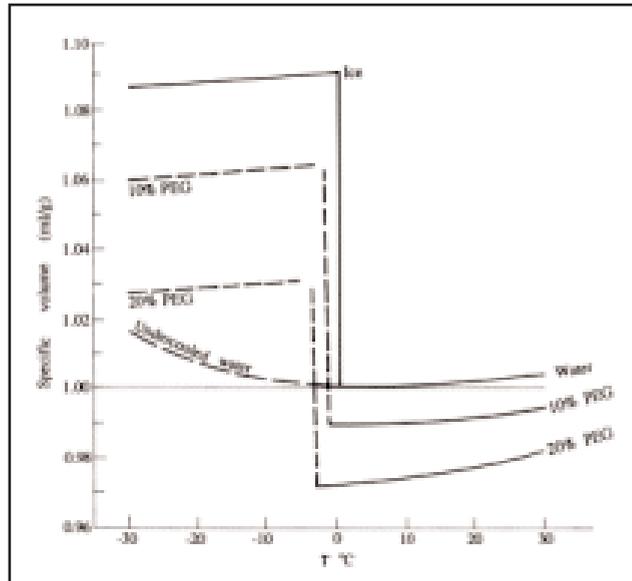
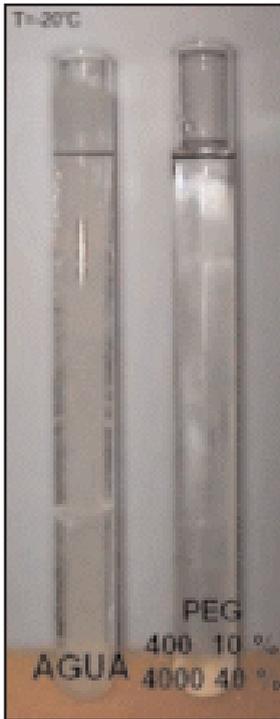
4. Velocidad de congelación. Se han utilizado diversos métodos para congelar la madera arqueológica empapada de agua evitando la formación de grandes cristales de hielo, que puedan romper las estructuras microscópicas. Se ha congelado la madera de la forma más rápida posible, ya que se forman más núcleos de cristalización, sumergiéndola en O_2 líquido, a $-183^\circ C$, CO_2 sólido en disolución de amoníaco, a $-76^\circ C$, o incluso en N_2 líquido, a $-195^\circ C$. El hielo formado en la superficie de la madera en los objetos grandes hace de aislante, impidiendo la pérdida rápida del calor para la congelación del interior. En maderas grandes, se ha alcanzado una velocidad de congelación de $0.6^\circ C/min.$, lo que no es suficiente. Una buena opción es preenfriar la madera a $0^\circ C$ y disminuir lentamente la temperatura.

La liofilización por sí sola no basta para tratar con éxito la madera saturada muy degradada, ya que no consolida por sí misma. Por ello se usa en combinación con tratamientos de impregnación parcial con PEG.

Es decir, se añade PEG para impregnar las paredes celulares y rellenar el lumen de las células, a fin de formar pequeños cristales de hielo al congelar. El proceso de impregnación es similar al de los tratamientos con PEG a saturación. El PEG actúa no sólo de consolidante, sino también de crioprotector, reduciendo la expansión del agua al congelar. En la práctica se pueden utilizar mezclas de PEG, de bajo peso molecular, que difunden mejor en la madera llegando 'más adentro' y rellenando los espacios interiores más pequeños, y de alto peso molecular, para sostener la estructura interna de la madera, 'apuntalando' las fibras de la pared celular.

Las marcas sobre el tubo muestran el volumen inicial de llenado. Durante

la congelación, el agua aumentó su volumen rompiendo el tubo (abajo), mientras una disolución de PEG 4000 ejerció un efecto crioprotector (arriba).

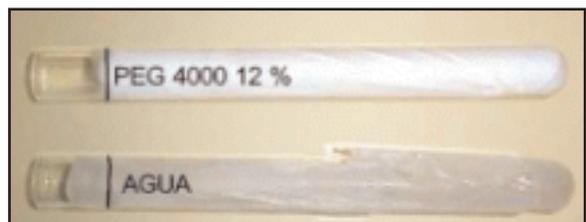


En este gráfico (Según W. R. Ambrose) se muestra la densidad de las disoluciones en el punto próximo a la congelación. Se aprecia que la diferencia de volumen es menor al incrementar la concentración

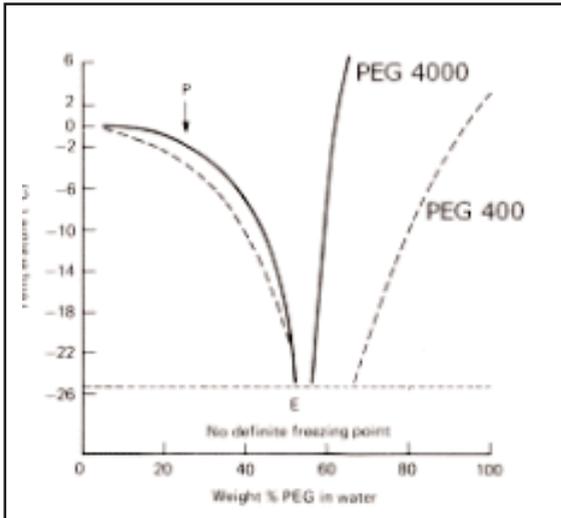
Al usar el PEG se reduce el punto de congelación según las leyes de crioscopia. A una concentración de un 45 %, la disolución solidifica a -25°C ; a partir de este punto no tienen un punto de congelación definitivo.

En la fotografía de la derecha se puede observar que, a -20°C , el agua ha congelado expandiendo su volumen, mientras que una disolución de PEG 400 al 10% + PEG 4000 al 40% aún no ha congelado y mantiene su volumen inicial.

Como se ha comentado anteriormente, al congelar el agua, los cristales de hielo se expanden y dañan las paredes de las células. Ambrose (1970) encontró que si la madera era tratada previamente con PEG 400 al 10%, se elimina prácticamente la formación de cristales de hielo.



Hoy en día es normal el pretratamiento con 10-15% de PEG 400 antes de congelar la madera. Más recientemente, Watson propone tratar con 20% PEG 400 para impedir el crecimiento bacteriano en el baño de tratamiento,



Según D.W. Grattan

ya que a concentraciones mayores del 20%, los microorganismos son deshidratados por ósmosis y no pueden sobrevivir. Si se usa una solución de PEG de menos de 20%, debe añadirse un fungicida a la disolución para detener cualquier crecimiento microbiano durante la impregnación. El PEG, además de inhibir el tamaño de los cristales de hielo, actúa como humectante tras del tratamiento e impide a la madera sufrir una disminución de volumen excesiva. Se suele usar PEG 400 para madera poco degradada, y una mezcla de 400 y 4000 para los fragmentos más degradados.

La liofilización se usa con cierta regularidad en fragmentos pequeños de madera; la única limitación es el tamaño del liofilizador.

La textura de la madera así tratada es muy natural; en cuanto a la variación de color ocasionada por el tratamiento, se observa que la madera liofilizada clarea ligeramente pero dándole un aspecto más natural. Hay que tener en cuenta que la madera empapada presenta un color más oscuro que la madera fresca. La madera se puede pegar y reintegrar, pero se vuelve completamente rígida, por lo que si se quiere flexionar es muy posible que se rompa.

El Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas lleva investigando en este campo desde 1988, para lo cual se le dotó con una primitiva cámara de liofilización, con la que se ha trabajado durante estos años adquiriendo experiencia en esta práctica. Esta primera cámara ha quedado obsoleta, ya que, además de tener unas dimensiones de trabajo útil muy reducidas, no se pueden controlar los parámetros de liofilización, como presión de vacío, temperatura del objeto, aporte de calor, curva de congelación, etc.

En la actualidad, este Centro dispone de un moderno liofilizador, que se ha diseñado específicamente para el tratamiento de objetos arqueológicos extraídos de ambientes saturados de agua y la experimentación de las condiciones idóneas de este proceso para un futuro tratamiento de las maderas del barco fenicio Mazarrón-1. La principal característica que ofrece este aparato es la exacta reproducibilidad de las condiciones de experimentación, ya que permite un control exhaustivo de todos los parámetros del proceso. El equipo fue diseñado para permitir posteriores ampliaciones, con grupos de frío y vacío sobredimensionados, para aumentar su capacidad aumentando la longitud de la cámara de vacío, añadiendo al extremo de la cámara una pieza cilíndrica de mayor diámetro. Las dimensiones útiles de la cámara son de 1.5

m. de longitud por 1 m de diámetro; no obstante, se está construyendo en la actualidad una ampliación útil de la cámara hasta 5.5 m. de longitud por 1.20 m de diámetro.

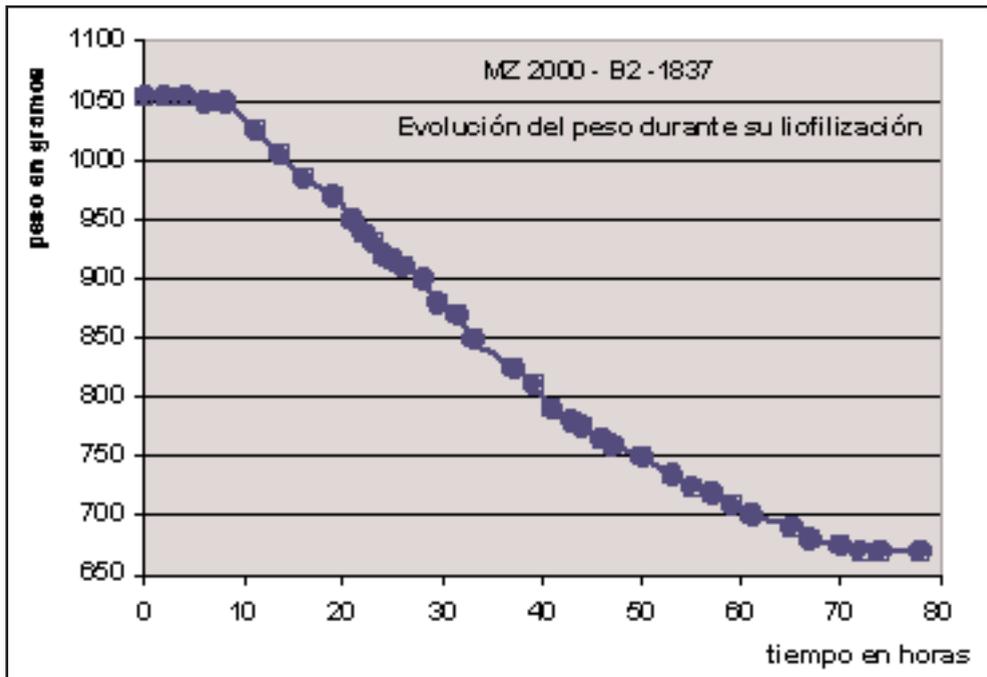
Secado supercrítico

Consiste en una nueva técnica de secar materiales evitando el cambio de fase liquido-gas, que como hemos visto, es el fenómeno que provoca la distorsión y el colapso de las estructuras celulares de la madera.

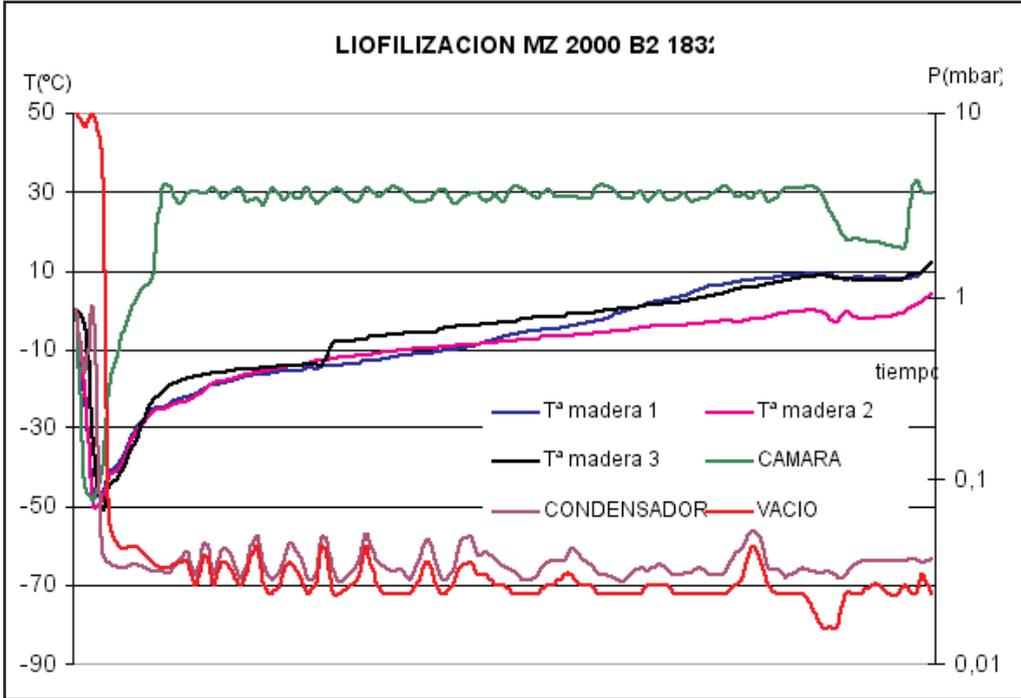
Está basado en el hecho de que los gases, al calefactarlos por encima de una temperatura (temperatura crítica), no pueden ser licuados al aumentar la presión. En el punto crítico, la densidad de la fase gaseosa se iguala con la densidad de la fase líquida, por lo que se vuelven completamente miscibles y no se pueden separar por acción de la gravedad. Aumentando la temperatura y



Moderno liofilizador del Museo Nacional de Arqueología Marítima y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas



Evolución del peso (arriba) y de las temperaturas (abajo) durante la liofilización, abajo un asa de puerta fenicia (s.VII a.C.) ya finalizado el tratamiento



la presión por encima del punto crítico es posible evitar atravesar la fase de equilibrio liquido-gas. Cualquier fluido sometido a temperatura y presión por encima del punto crítico se puede considerar como un gas, conteniendo en su interior agrupaciones moleculares que se comportan como líquidas; son los llamados fluidos supercríticos. Estos fluidos pueden disolver ciertos sólidos y líquidos compatibles, pero no pueden formar enlaces por puente de hidrógeno ni disolver compuestos iónicos.

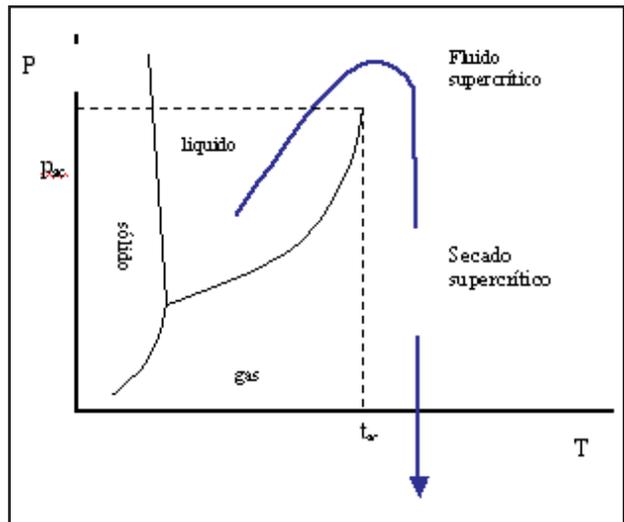
Recordando el diagrama de fases estudiado anteriormente, podemos apreciar el ‘camino’ que se debe tomar para realizar un secado supercrítico:

En el agua el punto crítico es a una temperatura de 374° C y una presión de 220 bar. A esta presión y temperatura seguro que se causan daños irreparables a la estructura

en la madera, por lo que no podría utilizarse esta técnica si quisiera emplear el agua como fluido supercrítico. El CO₂ tiene unas condiciones supercríticas más razonables, 31° C y 74 bar. En esas condiciones el dióxido de carbono es insoluble en



agua, pero es completamente soluble en metanol. Para deshidratar una madera debilitada por la degradación se debe reemplazar el agua embebida por metanol; esto se puede realizar sumergiendo la madera en 4 ó 5 baños sucesivos de metanol puro. Se puede medir el punto final de intercambio midiendo la densidad del metanol en el baño; cuando sea igual a la del metanol puro, el proceso de cambio de la fase líquida ha concluido. Una vez saturada la madera con metanol



se intercambia éste con CO_2 supercrítico a 50°C y a 120 bar en un autoclave adecuado, por donde fluye el dióxido de carbono a través de la madera arrastrando el metanol, que se separa por destilación al disminuir la presión. Cuando se ha extraído todo el metanol se hace disminuir lentamente la presión del CO_2 supercrítico residual hasta presión atmosférica. La madera se encuentra completamente deshidratada y a 50°C . Se establece un proceso de acondicionamiento lento a las condiciones atmosféricas normales, donde la madera se rehidrata por su naturaleza higroscópica.

Aunque los resultados son razonablemente buenos desde un punto de vista dimensional, con esta técnica no se aporta consolidación a la madera. Esto tiene su lado positivo, ya que al ser un tratamiento exclusivamente de secado, es completamente reversible, se puede volver a rehidratar la madera sin ninguna dificultad, por lo que éticamente es un tratamiento muy correcto. Sin embargo, por el lado negativo se puede alegar que, al no aportar consolidación, las maderas muy degradadas hay que manipularlas con extrema precaución. Además, el metanol, como otros disolventes orgánicos, es venenoso por inhalación y contacto tóxico; es muy volátil y potencialmente inflamable. Otro aspecto negativo de este tratamiento es la necesidad de contar con una gran infraestructura para realizarlo, las maderas tratadas no pueden tener grandes dimensiones (las de la cámara de presión).

Exposición en museos y almacenamiento

Tras el tratamiento de conservación y restauración adecuados, cualquier bien cultural tiene un destino similar: o se destina a exposición pública en un lugar adecuado para ello, como un museo, o se custodia en condiciones adecuadas en un almacén. En cualquiera de las dos opciones reviste especial importancia las condiciones en que se va a encontrar el objeto.

Esto es aún más importante en el caso de objetos de naturaleza orgánica y en concreto en los objetos de madera de procedencia subacuática ya trata-

dos. Y es así porque los materiales orgánicos, procedentes de seres vivos, llevan consigo inherentemente los procesos de degradación y descomposición para que otros organismos puedan beneficiarse de ellos, como sustento y abrigo. Es decir, aunque los hayamos sometido a tratamientos de conservación y restauración, la degradación de los objetos no se paraliza, y continúa durante toda la vida del objeto, en este proceso continuo de adaptación.

Es, por tanto, prioritario la conservación de estos materiales y para ello se debe intentar paralizar esos procesos, tratando de congelar su estado de conservación en el tiempo, luchando en contra los principios de mínima energía por los que se rigen las transformaciones naturales.

En este punto es fundamental el papel de conservador de museos, que junto con otros profesionales tratará de definir las condiciones ideales de preservación de objetos para su exposición en museos y conservación en almacenes. En definitiva, se trata de arbitrar las medidas adecuadas de conservación preventiva que permitan mantener estable y sin alteraciones el medio en que se depositan los objetos, ya que esta estabilidad será la clave de su conservación.

Los parámetros que afectan a esos mecanismos son el control climático (la temperatura y la humedad relativa), la iluminación y las condiciones de las vitrinas o los almacenes donde se van a depositar.

La humedad relativa es el factor con más peso en la conservación de los objetos de naturaleza orgánica. Esto es así por su higroscopicidad, que favorece los movimientos internos de la pieza debido a su capacidad de captar y soltar humedad si ésta varía, provocando la dilatación y contracción del objeto y con ello, la posibilidad de que su estructura interna se altere, produciendo grietas, craqueladuras y, en fin, su deterioro irreversible; dado que los parámetros de humedad relativa están indisolublemente unidos a la temperatura ambiente, es importante controlar también ésta. Pero no es el único factor que obliga a su control. La bajada brusca de temperatura afectará, produciendo condensaciones extraordinariamente dañinas, mientras que una temperatura muy alta producirá un descenso brusco de la humedad relativa, con las consecuencias que ya hemos visto, y además el calor excesivo puede producir el rápido crecimiento de microorganismos y, en fin, un ambiente idóneo para un sin número de plagas.

Por último, una iluminación inadecuada, asociada con radiación ultravioleta (la luz natural, por ejemplo), desencadena otro proceso, a través de reacciones fotoquímicas, creando y destruyendo enlaces moleculares o produciendo foto-oxidación, debilitando la estructura superficial de la pieza. La penetración de la luz en las capas de madera es inferior a 75 micras, cuando se trata de luz UV y de 200 micras en el caso de la luz visible. Además de estos daños estructurales, la luz excesiva produce calor (por radiación infrarroja), y por tanto una desecación del objeto y daños en la pigmentación.

Con todo lo expuesto hasta aquí, se hace evidente que un proceso de restauración no es suficiente para garantizar la vida del objeto en ningún caso,

pero mucho menos en el caso de maderas arqueológicas.

Es aquí donde entran en juego los protocolos de conservación preventiva que, sin intervenir directamente sobre la pieza, van a permitir su preservación en el tiempo en condiciones óptimas. Entre estos protocolos los más importantes son los que producen la estabilización de las condiciones de humedad-temperatura e iluminación, y evitan la contaminación, la proliferación de plagas e insectos.

En el caso de los objetos arqueológicos de madera de procedencia subacuática, los tratamientos a que han sido sometidos, preferentemente impregnación parcial con polietilenglicol y posterior liofilización no garantizan una conservación óptima si no se siguen ciertas pautas básicas pero imprescindibles. Aunque no se trata de ser exhaustivo, ni de proponer un manual de conservación preventiva, se proponen a continuación unas pautas básicas al respecto:

1.- Control climático. *Estabilidad* de las condiciones de HR-T con desviaciones mínimas. Hay que entender que, aunque los parámetros aceptados oscilan entre 18-20° C de temperatura y 45-65 % de HR, hay que plantear con cuidado estos estándares. Efectivamente, son útiles en la mayoría de los casos, pero si los objetos que vamos a exponer o a almacenar están estabilizados en ambientes húmedos, o secos, o con otras temperaturas, cambiar sus parámetros normales de conservación para adecuarlos a los estándares no harán más que perjudicarlos. Se puede intervenir alterando paulatinamente la HR en un proceso lento y controlado que permita al objeto adaptarse poco a poco a unas nuevas condiciones más eficaces.

2.- Iluminación. Ya hemos comentado someramente los daños que puede causar una iluminación excesiva, tanto por el calor como por las reacciones químicas que produce. Además, sus efectos se acumulan en el tiempo, por lo que es un aspecto a cuidar permanentemente. En cualquier caso se recomienda una iluminación de baja intensidad, con filtros para proteger a los objetos de radiaciones infrarrojas y ultravioleta, o el uso de iluminación con fibra óptica, que no produce radiaciones.

3.- Control de plagas. Poco vamos a decir sobre ello. Con un control de los parámetros ambientales y la iluminación, y el uso de vitrinas adecuadas, la proliferación de plagas o el efecto de los contaminantes ambientales deberá ser muy difícil. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que deben utilizarse materiales inertes en la construcción de vitrinas, soportes, etc, ya que muchos de los materiales normales –metales o maderas, por ejemplo- emiten ácidos volátiles que pueden alterar enormemente los objetos que queremos conservar.

Finalmente, podemos concluir que sea cual sea el método de exposición o almacenamiento elegidos, es fundamental ejercer un control efectivo sobre las condiciones en las que van a estar los objetos, de manera que garanticemos la estabilidad de las condiciones climáticas y el control lumínico, de contaminantes y plagas. Ello permitirá conservar el objeto en condiciones óptimas.

Bibliografía recomendada

- AA.VV. *Proceedings of the 5th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*. Portland/Maine. 1993
- AA.VV. *Proceedings of the 6th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*. York. 1996
- AA.VV. *Proceedings of the 7th ICOM-CC Working Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*. Grenoble, 1998
- AA.VV. *Proceedings of the 8th ICOM Working Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*, Stockholm.. 2001
- FAHN, A. *Anatomía Vegetal*. Madrid. 1985.
- PEARSON C. *Conservation of Marine Archaeological Objects*. Londres. 1987.
- ROWELL, R. y BARBOUR, J. 1990. *Archaeological Wood, Properties, Chemistry and Preservation*.
- WAYNE SMITH C. 1998 'Comparison of the Bulking Abilities of Polyethylene Glycol 1450 and PS341 Silicone Monomers', *Archaeological Preservation Research Laboratory (APRL), Report 22*, World Wide Web, URL, <http://nautarch.tamu.edu/APRL/REPORTINDEX>, Nautical Archaeology Program, Texas A&M University, College Station, Texas.
- KAYE, B., COLE-HAMILTON, D.J. y MORPHET, K. 2000. *Supercritical drying: a new method for conserving waterlogged archaeological materials. Studies in conservation. V45*.

LA DEGRADACIÓN DEL HUESO

Ana BOUZAS ABAD

Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico
Camino de los Descubrimientos 1, 41092 Sevilla
anabouzas2002@yahoo.es

Ana LABORDE MARQUEZE

Instituto del Patrimonio Histórico Español
Greco 4, 28040 Madrid
ana.laborde@iphe.mcu.es

La aparición de restos óseos es un hecho frecuente en los contextos arqueológicos. Pueden ser restos de fauna o huesos utilizados como materia prima para la fabricación de útiles o incluso para objetos de adorno.

El marfil documenta igualmente la presencia de grandes mamíferos o el comercio con lugares lejanos, siendo muy utilizado para la fabricación de objetos ornamentales. Las cuernas de artirodácillos se emplearon asimismo con fines instrumentales y artísticos.

Composición y estructura

El hueso es el tejido conjuntivo más duro del organismo, debido a un proceso de mineralización conocido como osificación. Funcionalmente, no sólo tiene una misión mecánica, sino actividades metabólicas básicas. Está compuesto por varias clases de tejidos:

- tejido óseo
- periostio
- cartílago
- médula ósea
- vasos y nervios

El *tejido óseo* comprende a su vez la sustancia fundamental, las fibras colágenas y las células; es característico del hueso y el más abundante de todos. Condiciona su valor mecánico debido a que la sustancia fundamental que lo forma se carga de sales minerales que van pasando a la sangre. La sustancia fundamental consiste en pequeñas capas superpuestas llamadas láminas óseas, formadas por proteínas u oseína y otra parte mineral (fosfato tricálcico, carbonato cálcico, fosfato magnésico y fluoruro de calcio).

Las sustancias minerales no se fijan de forma uniforme en el tejido óseo. Una parte es estable y asegura la función mecánica; la otra varía en función de lo que absorba la sangre.

La materia orgánica es relativamente abundante en los individuos jóvenes. Con la edad, el hueso se va mineralizando y se vuelve más frágil.

Las fibras colágenas se incluyen y apenas se diferencian de la sustancia fundamental. Son paralelas y están orientadas perpendicularmente.

Las células óseas se llaman osteocitos y proceden de los osteoblastos que existen en el tejido en proceso de osificación. Normalmente, aparecen dispuestas entre las láminas óseas o incluso en su propio espesor. Son pequeñas y de forma fusiforme e irregular.

Existen variedades de tejido óseo que reflejan la estrecha adaptación de cada parte del hueso a su función mecánica propia. Así, tenemos el hueso endocondral, que no tiene valor mecánico y sirve de reserva mineral, el hueso perióstico compuesto por láminas delgadas y largas paralelas a la superficie del hueso y el tejido óseo haversiano, compacto y esponjoso, que forma la mayor parte de los huesos, con un valor mecánico importante.

El *periostio* es una membrana fibrosa que recubre los huesos, formado por tejido conjuntivo denso y orientado, con las fibras entrecruzadas.

Todo hueso está precedido de una *base cartilaginosa*, a partir de la cual se desarrolla el tejido óseo. Algunas de estas zonas cartilaginosas se mantienen en el proceso de osificación. Son los llamados cartílagos de conjugación, que desaparecen al finalizar el crecimiento y los cartílagos articulares.

La *médula ósea* es un tejido conjuntivo delicado, muy rico en vasos y provisto de células fijas y móviles. Ocupa todas las cavidades de los huesos y puede ser de tres tipos, según su localización y grado de desarrollo óseo:

- médula roja
- médula amarilla
- médula gris

Los *vasos* son muy numerosos en el hueso y su circulación intensa. Pueden ser arterias, venas y linfáticos. Los *nervios* son igualmente abundantes pero no están uniformemente repartidos. Se asocian normalmente a las arterias.

El marfil se diferencia del hueso en el ámbito macroscópico, pero su composición es muy similar. Tiene una matriz orgánica abundantemente impregnada de sales calcáreas. El tamaño de su red tubular es menor que la del hueso, con un grano más fino. Se compone fundamentalmente de fosfato, carbonato y fluoruro de calcio. El componente orgánico mayoritario son el colágeno y la elastina. La elastina es la proteína estructural de las fibras elásticas.

El porcentaje de materia mineral y orgánica varía considerablemente en los diferentes tipos de marfil.

En un corte transversal, el hueso nos muestra un grano relativamente basto, con lagunas características, mientras que el marfil, compuesto de un tejido denso y duro llamado dentina, es más compacto y se distingue por la presencia de una red compuesta por diminutas zonas lenticulares originadas por las intersecciones de las estrías, que irradian desde el centro del colmillo.

Las cuernas se diferencian de los huesos en su textura, más homogénea y compacta hacia el interior, pero menor en la pared externa. Apenas difieren en su composición.

Procesos de alteración

Los procesos de alteración de estos materiales están relacionados tanto con su composición química y características físicas, como con el medio ambiente en el que han permanecido depositados.

El propio ciclo de la biosfera y los procesos de sedimentación provocarán una serie de alteraciones y condicionarán su conservación posterior. Hay que considerar la acción de los agentes atmosféricos o meteorización y las alteraciones físicas debidas al transporte.

Si los restos no quedan enterrados en niveles subacuáticos con relativa rapidez, se destruyen por la acción de los agentes biógenos y subaéreos.

Las características del sedimento determinarán la preservación de los materiales. El grano de la roca, el grado de compactación y los procesos de alcalinización influyen de forma importante. Cuando los granos del sedimento son gruesos se destruyen los objetos finos y frágiles, conservándose mejor los de gran tamaño. Una gran compactación del sedimento destruirá por el contrario las piezas grandes, conservando las pequeñas y planas.

Un suelo de tipo ácido atacará el mineral óseo hasta su desaparición, perdiendo el hueso su rigidez y volviéndose flexible y elástico, al quedar tan sólo la fracción orgánica.

Debido a su porosidad, es fácil que el hueso se altere cromáticamente y se tiña del color de la capa sedimentaria donde permanece enterrado.

Son materiales higroscópicos, muy sensibles a las variaciones de humedad. En un medio salino, las sales solubles disueltas en el agua penetran en los objetos, cristalizando en el exterior durante el proceso de secado y dañándose la superficie de forma irreversible. En el caso del marfil, las sales cristalizan en los espacios interanulares, provocando importantes tensiones y la aparición de fisuras, grietas e incluso el colapso de las piezas.

La fracción orgánica se descompone cuando permanecen largo tiempo en ambientes húmedos. Es más, llegan a desintegrarse por la acción prolongada del agua, a causa de la hidrólisis de la oseína.

Tanto el hueso como el marfil son anisótropos, es decir, presentan distintas propiedades físicas en las tres diferentes direcciones. Al cambiar las condiciones ambientales se expanden y se contraen, de manera distinta según los tres ejes. Las fracturas comienzan en el momento en que la tensión del material sobrepasa el límite de resistencia.

Tanto el hueso como el marfil pierden su color natural cuando se exponen a la luz solar. Las radiaciones infrarrojas provocan un aumento de la temperatura y un descenso de la humedad relativa y las radiaciones ultravioletas pueden llegar a romper las estructuras moleculares.

Conservación y restauración

Los trabajos de conservación y la intervención sobre cualquier tipo de bien cultural, posibilitan el acercamiento a la obra y un estudio profundo del

material, su problemática, la técnica de ejecución o manufacturación e incluso un conocimiento del contexto o medio en el que han permanecido. Pero por desgracia, casi todos estos materiales tienden a descomponerse por procesos químicos y bioquímicos.

Es sabido que cuando realizamos una excavación rompemos el equilibrio de los objetos encontrados y más aún en el caso de estos materiales especialmente sensibles a los cambios de temperatura y humedad. Podemos afirmar, por tanto, que el tratamiento más eficaz será en estos casos el de la conservación preventiva.

Los materiales óseos que encontramos en un medio marino están en un estado de extrema fragilidad, ya que al estar saturados de agua han perdido casi todas sus propiedades. Las sales propias de este medio, de naturaleza higroscópica, son las que representan un grave peligro, al variar de forma brusca las condiciones ambientales en el momento de la extracción.

Es por tanto necesario tomar unas medidas preventivas adecuadas para evitar la pérdida de estos documentos. Cuando extraemos un objeto de naturaleza orgánica procuraremos mantener las condiciones del depósito. Es importante que la actuación esté bien pensada y organizada. Para un objeto arqueológico de esta naturaleza, su conservación comienza en la excavación y continua en el laboratorio.

Para realizar una extracción y teniendo en cuenta la fragilidad de los materiales deberemos hacer soportes que protejan y que a la vez nos ayuden a reducir al máximo su manipulación. Si los objetos son de pequeño tamaño, se pueden guardar en el mismo medio de la excavación sumergidos en agua, en recipientes estancos de polietileno. Si los objetos son de mayor tamaño, se podrá disponer de cajas estancas más grandes o protegerlos con telas plásticas o telas de algodón.

Una vez extraídos del agua, se realizará de inmediato un tratamiento fungicida, sobre todo si el objeto está envuelto en una tela de algodón. Así, evitaremos la degradación desencadenada por el ataque de organismos superiores y microorganismos (hongos y bacterias). Los organismos superiores encuentran en los materiales orgánicos un substrato ideal para habitar en él y para nutrirse. Las moléculas orgánicas se deterioran por las sustancias químicas que segregan. Los microorganismos se desarrollan mejor en ríos y aguas de mares fríos, ya que se ven favorecidos por el grado de oxigenación del medio y su baja salinidad.

Las bacterias son capaces de degradar toda clase de substratos y en prácticamente cualquier medio, ya que pueden vivir en condiciones anaerobias.

Una vez extraídos los materiales y en función de su estado de conservación, realizaremos un tratamiento de limpieza, una impregnación, o ambas cosas. Si es necesaria una impregnación, por el grado de fragilidad alcanzado o por la descomposición ocasionada por el ataque biológico, se debe realizar una consolidación adaptada a estos materiales. Podemos utilizar resinas vinílicas, acrílicas, polietilenglicol, ésteres de celulosa, etc., siempre en un medio acuoso.

Se entiende que previamente habremos sometido al objeto a una extracción de sales solubles para que la impregnación o consolidación sea más efectiva. Esta desalación se realizará por inmersión de los objetos en agua desmineralizada con el fin de eliminar los iones Cl^- . Los baños se deben renovar periódicamente tomando muestras para hacer un seguimiento del proceso.



Las muestras se analizarán con un conductímetro que nos proporciona la concentración en iones. Estos valores se expresan normalmente en S/cm (conductividad específica), aunque también pueden expresarse con un concepto de salinidad (m/l o g/l), que se refiere a la concentración hipotética de iones NaCl con la misma conductividad de la muestra. Este tratamiento durará hasta que los valores del test de conductividad sean muy bajos.

Podemos ahora realizar una limpieza de los depósitos más adheridos a la superficie del objeto. Los depósitos superficiales se habrán ido eliminando paulatinamente al cambiar el agua de los baños.

Estos restos que quedan incrustados se retiran con la ayuda de pinceles suaves e instrumentos de madera. A la solución de agua podremos añadir un jabón neutro o utilizar una mezcla de agua, alcohol y jabón neutro, incrementando poco a poco la proporción de alcohol etílico. De esta manera iremos secando también el hueso. Durante la limpieza, la superficie del objeto no debe permanecer húmeda de continuo, para lo cual secaremos los excesos de solución en cada intervención. Una vez limpia, se neutralizará la zona con agua y se secará de inmediato con compresas para eliminar todos los residuos de jabón.

En ningún caso es recomendable el uso de productos blanqueantes, que debilitan la superficie, además de quitar al objeto una de sus más bellas características, la patina que adquieren los materiales con el tiempo.

Al finalizar esta fase de tratamiento pasaremos a un secado controlado de la pieza. Debemos proceder de forma gradual para no crear diferencias bruscas en las condiciones de humedad, así evitaremos la aparición de grietas y fisuras o incluso el colapso del objeto durante el proceso.

Se introducirá entonces en una cámara de secado donde se controlará con un higrómetro el tratamiento. Si el hueso y el marfil presentan problemas de fisuras y grietas una vez secos, podemos intentar reducirlas. Para ello los mantendremos al 100 % de humedad relativa para que se “hinchén” gracias a sus propiedades higroscópicas y podremos cerrar entonces ligeramente las grietas. Después tendremos que conservar las piezas a una humedad relativa estable del 55 al 60%.

Podemos a la vez consolidar el objeto si vemos que está muy frágil y no soporta esta fase del tratamiento. La consolidación le dará resistencia mecánica frente al nuevo medio en que se encuentra. El producto que utilizemos tendrá que ser compatible con el objeto, no provocando alteraciones en su estructura ni aspecto. Los materiales más adecuados son las resinas acrílicas de baja viscosidad en dispersión acuosa, ya que la humedad sirve como vehículo del consolidante.

Podemos aplicarlo por medio de pincel, por inmersión o por inyección, dependiendo siempre de su estado de conservación. Una vez seco el objeto pasaremos a su ensamblado y montaje. Utilizaremos para ello los adhesivos adecuados, que pueden ser derivados celulósicos, resinas vinílicas, acrílicas, de poliéster, epoxi, dependiendo del estado de conservación. El relleno de lagunas solo será necesario en el caso que facilite la lectura y comprensión de la pieza o por razones de mantenimiento, para favorecer su resistencia mecánica. Los materiales de relleno serán siempre de menor resistencia, reversibles e inocuos para el soporte.

Como conclusión final, podemos afirmar que la mejor forma de conservación para los materiales óseos es mantener una estabilidad en los valores de humedad relativa y temperatura, así como controlar las condiciones de iluminación. Esta acción de conservación preventiva será mucho más eficaz que los tratamientos de protección que podamos aplicar.

Bibliografía

- ARNAUD, G. & ARNAUD, S. et al. (1980) “On the problem of the preservation of human bone in sea-water”, *IJNA*, 9.1, pp. 53-65.
- BERDUCOU, M.C. (1990) *La conservation en archéologie. Méthodes et pratique de la conservation-restauration des vestiges archéologiques*, Ed. Masson, Paris.
- BOUART, J. “El patrimonio histórico y arqueológico: valor y uso”, *Ariel Prehistoria*, Barcelona.
- CIRUJANO GUTIÉRREZ, C.; LABORDE MARQUEZE, A. (2001) “La conservación arqueológica”, *Revista Arbor CLXIX*, nº 667-668, Madrid.
- CRONYN, J.M. (1990) *The elements of Archaeological Conservation*, Ed.

Routledge, London.

- ESCUADERO, C.; ROSSELLÓ, M. (1988) "Conservación de materiales en excavaciones arqueológicas", *Museo Arqueológico de Valladolid*.
- KOOB, S.P. (1984) "The consolidants of archaeological bone", *IIC Adhesives and Consolidants*, Paris Congress, pp. 92-97.
- LABORDE MARQUEZE, A. (1986) "Conservación y restauración en yacimientos prehistóricos (restos óseos, madera, piedra)", *Cahier Noir n° 3 Monogràfic*, Girona.
- L' HOUR, M.; MIGAUD, P. (1990) "Reflét d'un aspect de la vie du board: Études préliminaires des restes osseux de l'épave de l'Aber Wrac'h (Finistère, XV^e s.)", *Anthropozoologica*, 12, pp. 3-12.
- PEARSON, C. "Conservation of marine archaeological objects", *Butterworth-Heinemann*, London.
- STANLEY PRICE, N.P. (1987) *La conservación en excavaciones arqueológicas*, ICCROM, Roma.
- STONE, T.T.; DICKEL, D.N.; DORAN, G.H. (1990) "The preservation and conservation of waterlogged bone from the Windover site, Florida", *Journal of Field Archaeology*, 17.2, pp. 177-186.

**LA ALTERACIÓN DEL HIERRO POR SALES.
AYER Y HOY. PROBLEMAS Y SOLUCIONES¹**

Carmelo FERNÁNDEZ IBÁÑEZ
Museo de Palencia. Plaza del Cordón s/n, 34001 Palencia
carmelofdez@delfin.retecal.es

1. Introducción

De entre las materias que se extraen de los diferentes yacimientos arqueológicos en fase de excavación, ya tengan como continente el ecosistema agua o el ecosistema tierra, no cabe duda que la más inestable es el metal. Dentro de todos ellos, los objetos forjados y fundidos en hierro probablemente sean los que más problemas suscitan al profesional de la conservación y la restauración arqueológica. Los diferentes trabajos en pos de su estabilización química y física han constituido una continua batalla contra el tiempo y la naturaleza, cuya adecuada investigación de sus procesos corrosivos y las primeras propuestas de tratamiento eficaz comenzaron con éxito sólo a partir de la década de los años sesenta del siglo XX. Miles de objetos eran motivo de continua destrucción y/o mutilación, resultando prioritaria la búsqueda de soluciones eficaces que hasta entonces no se había producido. Resultaba incuestionable la pérdida de la información histórica de que éstos eran portadores como archivos de la antigüedad.

Aparte de otros motivos, el responsable último de tanta destrucción fue identificado como un elemento mineral tan abundante en la naturaleza como inestable, escurridizo y peligroso, que en muchos aspectos podríamos considerar el enemigo público número 1 de la conservación: el ion cloruro (Cl⁻).

Desde aquellos años, muchos avances se han producido. Pruebas, análisis y un sin fin de investigaciones después de más de treinta años han dado lugar a una prolífica bibliografía que, si bien en la actualidad ha proporcionado frutos más que aceptables, aún estamos lejos de dar por definitivos los conocimientos necesarios. Y lo que aún es más imprescindible, un tratamiento definitivo y económicamente accesible a todos los laboratorios de nuestra laboriosa comunidad científica. Pero hemos de ser extremadamente realistas y por lo tanto conscientes que la lucha es contra la naturaleza, dado que el metal es un estado química y termodinámicamente inestable, debido a lo cual la lucha está perdida ya de antemano. Por el momento además, no nos es posible disolver la totalidad de las perniciosas sales que son las responsables últimas de la inestabilidad metálica. Pero esto no debe ser excusa ni constituir motivo para cejar en nuestro empeño y responsabilidad.

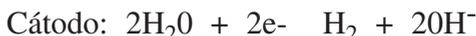
Al tratar la materia metálica en esta monografía, hemos optado precisamente por el mayor y principal problema, abundante por ende en este ecosistema submarino como es la sal. Y precisamente, en los modelos y proce-

dimientos para tratar su eliminación; de los más antiguos a los más actuales. En la literatura científica española, tal y como hemos relacionado y comentado en otro trabajo, precisamente también incluido en este mismo volumen, puede apreciarse su escasa relevancia pese al interés y la preocupación que suscita. Este trabajo pretende ser eminentemente útil, aportando nuestra experiencia y la de otros. Informativo también desde todos los puntos de vista, respecto al texto en sí y a su complemento bibliográfico.

2. Generales sobre la alteración del hierro

En la naturaleza, los minerales presentan un estado de equilibrio bajo forma combinada (óxidos, sulfuros, cloruros, sulfatos o carbonatos) estando caracterizados por una muy baja energía. Mediante la reducción conseguida por los procesos metalúrgicos, el mineral queda transformado en metal, que es un nuevo estado inestable y antinatural altamente energético. También de forma natural esta energía es liberada, lo que se traduce en la consecución del equilibrio perdido y por lo tanto, la transformación del metal nuevamente en productos minerales.

Estos complejos fenómenos naturales (transformaciones) pueden ser de tipo químico (oxidación) cuando se trata de la combinación entre el metal y el oxígeno, produciéndose de forma instantánea al cabo de 0'05 segundos. O de tipo electroquímico (corrosión) fundamentalmente, que para nuestro caso concreto presenta un mayor interés ya que supone la alteración más común en suelos y bajo el agua. Para ello, es imprescindible la existencia de dos polos, ánodo (+) con tendencia a perder electrones y aniones (Fe^{2+} ó iones +) siendo el que se corroe, y cátodo (-), donde aquellos se liberan al combinarse a iones oxidrilos (OH) y formar gas hidrógeno que se disuelve en la atmósfera². La diferencia de potencial entre ambos polos produce un flujo de corriente a través del cual circulan iones y electrones entre ambos, efecto que se ve favorecido por la presencia de un electrolito³. Este se encuentra constituido por las sales disueltas (cloro -fundamentalmente-, sodio, potasio, calcio y magnesio) y formando un medio iónico conductor. Puede decirse que el metal va disolviéndose en él:



En el agua los procesos resultan más complejos siendo de índole electroquímica, aunque se ha venido considerando que entre el 50%-60% de la corrosión allí formada es de origen biológico -bacterias- (BERTHOLON Y RELIER, 1990: 178). Aunque esta aseveración para otros autores no resulta nada fácil de determinar frente a la anterior (CANEVA, NUGARI Y SALVADORI, 2000: 138). La presencia de altas concentraciones de sales disueltas (± 35 gr. de sal por Kilo de agua como promedio -3'5%-) hacen de este medio un eficaz electrolito⁴. La destrucción del hierro en ambientes submarinos es un proceso frecuente dada la predisposición de este metal que apenas opone resistencia, y la más que patente agresividad del ecosistema.

Todo esto en cuanto a la generalidad, dado que el grado de alteración y la velocidad de ésta dependerá de las características del entorno, ya que el agua de mar es cambiante en lo que a sus componentes y a la concentración de éstos se refiere, temperatura, pH, etc. En función de la latitud o en último caso de la profundidad a la que los objetos se encuentran. Así en las aguas frías y con movimiento, la concentración de oxígeno es mayor, y por lo tanto son más agresivas para con lo que venimos argumentando. Por el contrario, en aguas cálidas como las tropicales, la presencia de microorganismos resulta más elevada y el oxígeno en menor proporción, debido a la evaporación producida por la temperatura. Con lo cual, la concentración salina aumentando el índice de corrosión. Junto a la salinidad y la temperatura del agua como factores de corrosión se encuentra el oxígeno disuelto, cuya concentración varía según la latitud. En el norte de Australia por ejemplo el oxígeno apenas varía hasta los treinta metros de profundidad, aumentando levemente a los cincuenta ocasionado por el aumento de la presión atmosférica cada diez metros. Allí, los potenciales de corrosión más bajos se hallaron en las aguas más profundas (MACLEDOD, 1996:360). Pero con el tiempo a su favor acaban por destruir cualquier muestra metálica. En contra de estos procesos, el metal puede quedar protegido o retrasar su inevitable destrucción por la formación de concreciones calcáreas (LÓPEZ MARCOS, 1987; NORTH y PEARSON, 1978a). La extensión de la corrosión parte de su composición, parece tener cierta relación con el tamaño y la forma de cada objeto (superficie/masa), de tal manera que los volúmenes circulares parecen contener menos corrosión que los huecos, planos y delgados (SKINNER, 1983: 13).

Después de haberse producido la exhumación de los objetos de hierro durante el transcurso de una excavación, la inestabilidad sigue el curso destructor del metal -si éste aún se conserva- por nuevos derroteros y con mayor

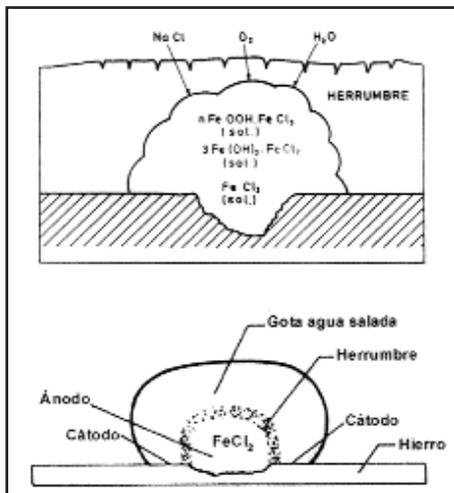


Figura 1: Esquemas de la oxidación del hierro y la formación de cloruro (sg. FELIU y MORCILLO)



Lámina I: Alteración de un objeto de hierro por desprendimiento de lascas debido a la presión ejercida por los cloruros después de la deshidratación

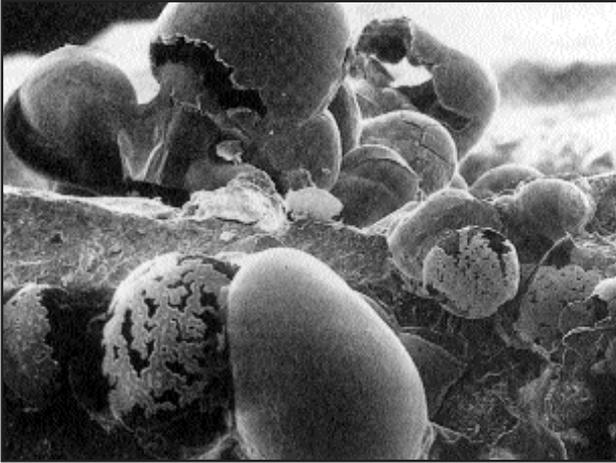


Lámina II: Grupo de pequeñas esferas ácidas de cloruro férrico que configuran el fenómeno denominado como “lagrimero”, solidificadas una vez han emergido al exterior y quedaron deshidratadas. Aumentadas 100 veces.

Anchura de la fotografía 300 _m. (sg. SELWYN, SIROIS, P. J. y ARGYROPOULOS)

intensidad. La variación de temperatura y sobre todo de humedad ante la llamada “segunda vida” de los objetos, despertando en un nuevo ecosistema hostil (aire), provoca efectos oxidantes. El secado de estos objetos hace solidificar cristales de cloruro presentes en grietas y recovecos, lo que además de presiones –y los consiguientes desprendimientos de escamas (Lámina I)- junto a la porosidad propia de los productos de corrosión, las grietas preexistentes, otras nuevas producto de la liberación de tensiones, etc. hace que el metal sano liberando iones Fe^{2+} vuelva de nuevo a oxidarse

al haber paso libre del oxígeno. Tras la consiguiente formación de hidróxidos, los iones Cl^- en estado libre equilibran la reacción dando lugar a cloruro de hierro ($FeCl_2$) (Figura 1), compuesto ácido (pH=4) que se presenta mayoritariamente en la interfase metal-productos de corrosión.

Este proceso deja en la superficie o en el plano de desprendimiento de las escamas (BARRIO MARTÍN y HERMANA MENDIOROZ, 1998: 63) en las piezas alteradas, pequeñas esferas de cloruro férrico ($FeCl_3$), exudación que adopta esta forma por la elevada tensión superficial de los objetos. De coloraciones ocre-amarillento tienen un bajo pH, y cuando emergen al exterior quedan al cabo del tiempo deshidratadas solidificándose en una estructura de cloruro ferroso ($Cl_2Fe \cdot 4H_2O$) (Lámina II); hablaremos entonces del fenómeno conocido como “lagrimero” (ALONSO GARCÍA, 1996a: 20; FORRIÈRES, 2001: 73-75; TURGOOSE, 1982). El proceso y los resultados descritos pueden llegar a producirse con parámetros tan bajos como el 20% de H.R., siendo aún más peligroso según la humedad va en aumento hasta llegar a un valor crítico del 60% (SELWYN, SIROIS y ARGYROPOULOS, 1999: 221-223).

3. Productos resultantes

Tanto la oxidación como la corrosión al ir reduciendo el metal van paulatinamente transformándolo de forma constante y continua en una serie de productos minerales (óxidos, hidróxidos, cloruros, carbonatos...), siempre y cuando se den condiciones favorables, algo que ni es difícil ni el hierro opone demasiada resistencia natural. Estos procesos suelen dar comienzo en

discontinuidades, huecos y grietas donde se alojan los cloruros y/o se forman pilas de aireación diferencial. Aparte de otras zonas como los límites de grano (Figura 2) dentro de la estructura cristalina, discontinuidades en la estructura metalográfica producidas por inclusiones de escoria o bien otras debidas a la forja, son lugares idóneos donde en primer lugar se realizan las combinaciones químicas.

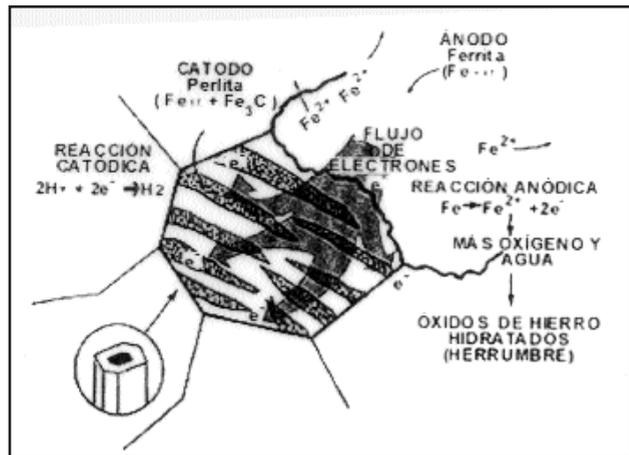


Figura 2: Esquema del progreso de corrosión en un grano de ferrita

Los objetos de hierro comienzan por aumentar de volumen y a deformar su estructura física y metalográfica, creando de manera uniforme o discontinua estructuras hojaldradas extremadamente porosas que volumétricamente ocupan tres o cuatro veces más que el espacio destruido.

Los iones Fe^{2+} perdidos por el metal forman los primeros óxidos (FeO); la combinación con iones Cl^- presentes en el entorno dan como resultado cloruro de hierro ($FeCl_2$ - $FeCl_3$) o bien oxiclорuro de hierro ($FeOCl$), este último mediante una unión química de tipo covalente. A su vez los óxidos son transformados en hidróxidos ($FeOOH$) que de forma mayoritaria es posible encontrar en el hierro arqueológico son: Goetita (α - $FeOOH$ - $Fe_2O_3 \cdot H_2O$) de color marrón y que resulta una materia bastante estable, Lepidocrocita (β - $FeOOH$ - $Fe_2O_3 \cdot H_2O$) algo menos que la anterior y de coloración marrón-rojiza, y Akaganeita (γ - $FeOOH$) - $[ClFe_8O_7(OH)_9]$ el que presenta más interés para nosotros. Se trata de un oxihidróxido muy inestable que resulta muy difícil de hallar en estado natural, presentando una coloración marrón-amarillenta. Hoy se reconoce a este producto como el principal desestabilizador y responsable último de la destrucción de los objetos arqueológicos fabricados en hierro tras ser exhumados, ya que presenta la particularidad que en su combinación con los iones cloruro permite albergarlos en su estructura cristalina.

Otros productos -esta vez más característicos- que se forman en el hierro que ha permanecido bajo el mar son los sulfuros, y de esta manera abordamos el tema de la corrosión bacteriana tan importante en el medio subacuático. Las bacterias que se forman con la descomposición de la materia orgánica transforman los sulfatos del mar en sulfuros. Los iones libres (S^{2-}) se combinan con los del hierro (Fe^{2+}) dando lugar a los sulfuros de hierro (FeS) que van reemplazando progresivamente al metal, e inclusive entrelazándose con óxidos e hidróxidos. Este presenta la posibilidad de combinarse de nuevo con

oxihidróxidos de hierro si es que están presentes, y así formar ácido sulfúrico (H_2SO_4) que provoca nuevas acciones oxidantes (SELWYN, SIROIS y ARGYROPOULOS, 1999: 220). También la Magnetita y la Goetita reaccionan con los sulfuros de hidrógeno en presencia de humedad y un pH 6-11 dando lugar a Mackinawita (FeS); y ésta a su vez con azufre formando Grieguita (Fe_3S_4) o Pirita (Fe_3S_4) en presencia de un Ph 3-6. Resulta ya típico el proceso pirofórico (ignición) que se produce en estos productos de oxidación bajo ciertas condiciones, con el consiguiente desprendimiento de calor. Después de varias experiencias y reflexiones por parte de R. Walker (2001: 145 y 148) observó que tales productos presentaban sobre los objetos una reacción de menor calibre que si éstos son reducidos a polvo. De todas formas, este autor recomienda que en el momento de hacer su aparición un objeto con la superficie sulfurada se mantenga constantemente húmedo hasta su tratamiento, o bien lavados neutralizantes de NaOH al 2% (NORTH y PERASON, 1978). Los sulfuros resultan en buena parte de carácter protector/pasivante con respecto al metal subyacente. William Mourey nos advierte de la precaución que debemos tener con estos productos superficiales de color negro, ya que mediante cepillado se disuelven en el agua pudiéndose perder además de la propia materia decoraciones, inscripciones....

Finalmente nos queda por abordar un particular tipo de productos resultantes por efecto de la corrosión, característicos de los objetos confeccionados en hierro colado como son por ejemplo los antiguos cañones. Se trataba de unas fundiciones ricas en carbono por lo cual la Cementita (Fe_3C), el grafito (C) y la Perlita se encuentran presentes de forma mayoritaria en su estructura. Los dos primeros no se ven afectados debido al gran potencial de corrosión que les caracteriza, pero éste no ocurre con el último que se ve transformado en óxidos o sulfuros. De tal forma que los productos resultantes consolidan una estructura muy conductora (“estructura grafitada”, ver electrolisis)⁵, donde el grafito con reducido tamaño en sus partículas reproduce fielmente la epidermis de los objetos y todos los detalles de aquellas primitivas superficies (BERTHOLON, 2001: 87).

3.1. Los cloruros y el hierro

Los cloruros son sales minerales muy comunes tanto en el ecosistema suelo como disueltos en el agua del mar (por lo tanto muy higroscópicos), existiendo diferentes tipos en forma de cationes (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , y Mg^{2+}) o aniones (Cl^- y SO_4^{2-}) que junto al agua actúan para nuestro caso concreto de eficaz electrolito. Todos ellos pueden llegar a provocar efectos perniciosos y de manera muy especial los citados en último lugar, ya que presentan gran movilidad y facilidad de penetración y combinación química, siendo rápidamente atraídos hacia zonas anódicas del metal. Una pequeña cantidad es suficiente para desencadenar procesos corrosivos muy destructores:



La inestabilidad que caracteriza a estas sales hace que de forma constante siempre y cuando se den las condiciones que lo favorecen, se combinen una y otra vez dado lugar a diferentes compuestos (óxidos, hidróxidos, áci-

dos...) (BERTHOLON Y RELIER, 1990: 180-181), provocando los efectos macroscópicos que ya nos son conocidos. Pero su sola presencia no implica oxidación o corrosión sino la aceleración y posterior desarrollo de éstas, incrementándose en relación al volumen de su presencia.

El conocimiento ya no sólo de su existencia sino -y sobretodo- de la influencia que ejercían sobre la conservación de los objetos, eran ya bien conocidos por H. J. Plenderleith en la década de los años cincuenta del siglo XX cuando publicó en Inglaterra la primera edición de su ya clásico tratado, cuya traducción en nuestro país se llevó a cabo años más tarde (PLENDERLEITH, 1967: 311 y 313).

La presencia de cloruros en los antiguos objetos arqueológicos de hierro se cifra en torno al 10% según se ha podido establecer en piezas recogidas del fondo marino (NORTH y PEARSON, 1978b), distribuyéndose aproximadamente a partes iguales entre los productos de corrosión y la interfase

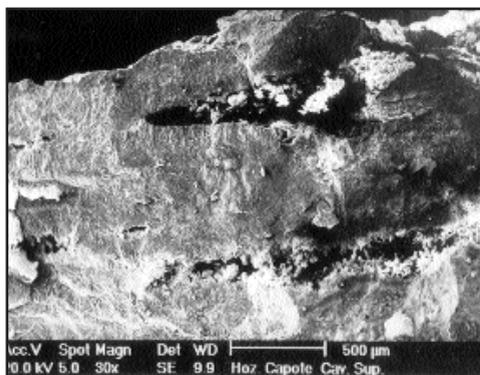


Lámina III: Hidróxido de hierro con cavernas repletas de akaganeita. Hoz protohistórica del yacimiento de Capote (sg. Barrio Martín)

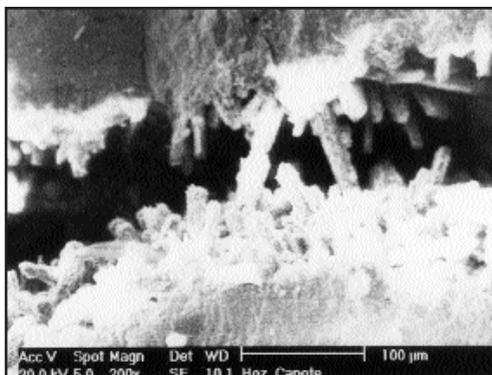


Lámina IV: Ampliación de la lámina anterior donde se aprecia la acumulación de akaganeita. Hoz protohistórica del yacimiento de Capote (sg. Barrio Martín)

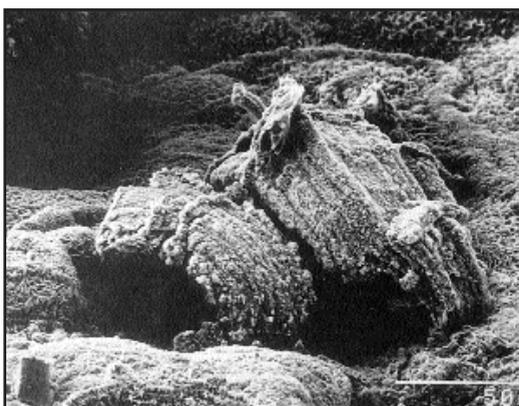


Lámina V: Akaganeita vista en una ampliación de 600 aumentos. La anchura de la fotografía es de 190 µm. (sg. Selwyn, Sirois, P. J. y Argyropoulos)



Figura 3: Estructura de los cristales de akaganeita (sg. R. Barclay). Tomado de SELWYN, SIROIS y ARGYROPOULOS

metal-productos de corrosión (RINUY y SCHWEITZER, 1982: 46). Es precisamente en esta última zona, más difícil de alcanzar para los baños desaladores, donde se encuentra más inaccesible el cloruro de hierro.

Como vimos anteriormente, una forma especial de oxihidróxido α como es la Akaganeita (Láminas III a V), motivo principal de nuestra atención, es la responsable principal como venimos diciendo de la inestabilidad del hierro arqueológico y por lo tanto de su progresiva destrucción. Se ha localiza-

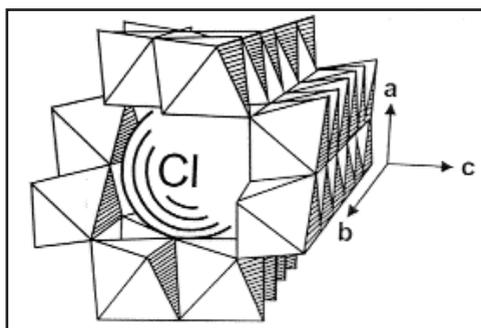


Figura 4: Supuesta estructura química de la akaganeita (sg. U. Schwertmann). Tomado de SELWYN, SIROIS y ARGYROPOULOS

do tanto en hierro marino como terrestre y está compuesto por cloruro férrico del cual tiene la capacidad de retenerlo en grandes cantidades. Éste se presenta en forma de cristales alargados (Lámina IV) con una longitud que oscila entre los 0,2/0,5 μm cuya sección es cuadrada a temperatura ambiente (Figura 3 y Lámina V) y circular cuando ésta es más elevada. Presentan una estructura química (Figura 4) de hidróxido de hierro en forma de octaedro, constituido por túneles cuadrados de dimensiones 5 x 5 Å donde se alojan los cloruros que estabilizan toda esta estructura (SELWYN, SIROIS y ARGYROPOULOS, 1999: 224).

3.3. Breve repaso a la historiografía en España

El conocimiento sobre la existencia de cloruros en el hierro y la aplicación de tratamientos estabilizadores cara a su disolución, es algo muy reciente. Quizás no erremos demasiado al decir que a mediados de los años ochenta de pasado siglo XX aún era algo, sino desconocido, al menos no se planteaba su existencia en los tratamientos según lo que la bibliografía nos ha legado (FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, 1988a y b; 1990).

Las publicaciones de North y Pearson pasaron incomprensiblemente desapercibidas en nuestra bibliografía de los años setenta y ochenta (NORTH, 1987: 221-229). Pero la obra que tal vez supuso ya no solamente la comprensión sobre lo que las sales suponían en y para el hierro antiguo, sino también el inicio de los tratamientos estabilizadores de desalación, fue el pequeño pero a la vez útil libro de William Mourey (1987). Un año después se publicaría el primer artículo, extremadamente resumido y sin hacer referencia bibliográfica alguna, donde por primera vez se habla de un producto para eliminar los cloruros en el hierro como es el sulfito alcalino (PORTA i FERRÉS, 1988). Pero lamentablemente sin hacer ver la importancia de su aplicación ni la trascendencia del proceso que intentaba evitar. Breve artículo, que no llegó a transformar en modo alguno (por lo menos de forma aparente, siempre según la bibliografía), el trabajo tradicional que se llevaba a cabo en nuestro país. Mourey volvería varias veces a España dic-

tando cursos (MOUREY, 1993: 54-55), lo que haría extender el conocimiento y las experiencias propias y ajenas en conservación de metalistería antigua. Podemos asegurar que en nuestro país dejó un poso de importante conocimiento.

De tal manera que en los años noventa ya se comenzaron a publicar procesos de estabilización y limpieza de objetos arqueológicos fabricados en hierro de procedencia tanto marina como terrestre, donde daban comienzo las referencias a la disolución de cloruros por medio de sulfito de sodio (FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, 1994: 25 y 82; PÉREZ GUERRA y BOUZAS ABAD, 1997). Si bien es verdad que entonces -y posteriormente- fueron publicados otros procesos donde este aspecto se obvió (CATALÁN MEZQUÍRIZ, 1991/92; BARRIO MARTÍN, 1994; BERGA CELMA, 1999; GÓMEZ VIZCAÍNO, 1997; LORRIO, ROVIRA y GAGO BLANCO, 1998/99; SARABIA ROGINA, 1988/98).

A finales del pasado siglo, fueron presentadas importantes reflexiones y propuestas a partir de una investigación llevada a cabo por J. M^a Alonso García (1996b) en torno a los procesos de corrosión postexcavación, y posterior estabilización a partir de NaOH. La Tesis de Doctorado que sirvió como base (ALONSO GARCÍA, 1996a; 1997), lamentablemente se encuentra inédita por ahora. Seguidamente y desde la Universidad Autónoma de Madrid J. Barrio (1996; BARRIO MARTÍN y HERMANA MENDIOROZ 1998; 1999), está llevando a cabo un seguimiento de los hidróxidos capaces de almacenar cloruros, y consiguiendo unas excelentes fotografías de Akaganeita de los objetos por él tratados e investigados.

4. Revisión de los principales tratamientos de estabilización

Tal y como hoy en día son entendidos y comprendidos los procesos de corrosión a partir de los cuales se desarrollan las investigaciones en torno a su pasivación, la conservación del hierro arqueológico lleva implícita una primera fase de estabilización que pasa por eliminar las sales motivo de su inestabilidad. Es un paso imprescindible y sin él todos nuestros esfuerzos posteriores serán en vano. Hoy, los derroteros más efectivos para llevar a cabo la extracción de los cloruros se centran en los tratamientos a base de plasma, ionización y difusión.

4.1. Desalación-Estabilidad-Dechloruración

Antes de aplicar cualquier tratamiento resulta imprescindible analizar en profundidad el objeto, si éste cuenta o no con núcleo de metal (Rayos X) o si presenta una actividad corrosiva en proceso (escamaciones, lagrimeo...) (Lámina I). Antes de la elección de cualquier modalidad, será necesario conocer que es imposible disolver la totalidad de los cloruros encerrados en una masa de corrosión. Pero no obstante, nuestra labor y compromiso es hacerlo en el mayor porcentaje que nos sea posible. Esto lleva implícito la elección de un tratamiento más o menos agresivo para con los objetos y la información histórica que lleva implícita, por lo que escogeremos aquel que consiga la máxima eficacia con la mínima alteración. Datos tales como la

forma y el tamaño del objeto, el tipo de metal, la alteración que presenta y sus composiciones, grado de conservación, etc. serán parámetros primordiales para analizar y tener en cuenta. A ser posible, procederemos a su desalación tras la limpieza de los productos de corrosión superficiales, con el fin de que la accesibilidad a los iones Cl^- resulte más fácil.

Los objetos serán tratados de forma independiente o bien, para hacer económicamente menos costosos los tratamientos, a ser posible por grupos pertenecientes al mismo yacimiento, ya que los grados de conservación serán parejos al haber sido extraídos los objetos a tratar de un mismo ecosistema, y por principio teórico será también semejante la cinética de extracción de sus productos clorados (LOEPER-ATTIA y WEKER, 1997: 165).

Sabemos que después de los tratamientos en el seno de los productos de oxidación y como porcentaje residual, permanecen un volumen de cloruros. Por comprobaciones continuadas, la experiencia ha dictado a los investigadores que, cantidades en torno a las 50/100 ppm para unos autores (ALMORAINA GIL, 2001: 88-89) o inferiores a 200 ppm según aseguraban North y Pearson (1978b), suponen concentraciones sin riesgo a posteriores reactivaciones de la corrosión, aunque para la estabilidad química, recientemente ha sido propugnada la cifra de <5 ppm (5 mg/l) para el final del tratamiento con sulfito (BERTIN y LOEPER-ATTIA, 1999a; LOEPER-ATTIA y WEKER, 1997: 163). Los objetos deberían permanecer estables tras haber sido eliminado al menos el 95% de los cloruros presentes, y en cualquier caso, jamás superar la fatídica cantidad de las 1000 ppm.

Estas concentraciones deberán (o deberían) ser medidas a lo largo de los procesos de desalación de forma regular, bien de forma diaria y/o semanal, y trasladados los valores obtenidos a una gráfica al efecto, donde las ordenadas representen la cantidad (Q) de cloruros que han pasado a formar parte de la disolución del baño estabilizador, y las abscisas la raíz cuadrada del tiempo [$Q = f(t^{1/2})$]. De esta manera, se irán configurando la/s curva/s que deberán ser decrecientes a lo largo de un proceso con desarrollo normal, hasta que ésta sea horizontal indicándonos que ya no es posible solubilizar más sales. Y por lo tanto dar por finalizada una de las fases o bien el tratamiento en sí (PEARSON, 1984: 97).

4.2. Relación y descripción de los procesos

4.2.1. *Baños Intensivos*: Tratamiento muy simple basado en la inmersión de los objetos en agua con cambios periódicos, y la disolución de los cloruros calentando aquella (PLENDERLEITH Y WERNER, 1971; REES-JONES, 1972). Tras ser revisado por A. Rinuy y F. Schweitzer (1981; 1982) y S. Keene (1991) -esta última autora añadiendo V.P.I-, quedó probada su ineficacia al ser insolubles los cloruros en agua y verse incrementado el proceso de oxidación acelerado además con el aumento de la temperatura.

4.2.2. *Sexquicarbonato de Sodio*: Tratamiento lento (hasta de doce meses) que si bien logra disolver cloruros no lo hace en la cantidad suficiente, y por lo tanto deja a los objetos inestables (RINUY y SCHWEITZER, 1981;

1982). Éstos deberán ser sumergidos en una disolución al 5% de Sexquicarbonato de Sodio⁶ con cambios diarios durante los primeros siete días, y semanales durante diez (ODDY Y HUGHES, 1970). El conjunto puede también calentarse a 50°C para acelerar el proceso. Se observó una rápida decoloración entre la 3ª y 5ª semana, y a partir de entonces un descenso gradual. La disolución de cloruros deberá ser medida regularmente⁷ y los resultados se reflejarán en la correspondiente gráfica. Después de este periodo si continúan extrayéndose cloruros se recomienda continuarlo cuatro semanas más. Los autores consideraron que si el valor total obtenido al final del proceso es superior a 10 ppm, el tratamiento deberá continuar.

4.2.3. *Hidróxido de Litio (LiOH)*: Tratamiento lento (mínimo seis meses) que actúa por difusión North y Pearson (1978a) lo investigaron en objetos recuperados del mar, poniendo en evidencia lo poco efectivo del proceso debido a que elimina sólo parcialmente los cloruros, así como también la carestía del mismo y lo peligroso que resultaba para los profesionales. Se basa en la inmersión de las piezas previamente deshidratadas en una disolución de Hidróxido de Litio (5%), Etanol (90%) -o bien Metanol + Isopropanol al 50%- y Nitrito de Sodio (5%) (MOUREY, 1987: 102). Se basa en el intercambio de iones OH en el baño de inmersión con los Cl⁻, quedando éstos disueltos en el alcohol o alcoholes.



Los grupos OH libres actúan como inhibidores de la corrosión difusión (FABECH y TRIER, 1978).

4.2.4. *Electrolisis*: El también denominado como “Tratamiento de estabilización mediante Polarización Catódica” es un procedimiento de reducción utilizado desde antiguo fundamentalmente en la limpieza de objetos metálicos, aunque ya entonces eran otras las ventajas que se conocían como era la decoloración (PLENDERLEITH, 1967: 315). Se considera un método lento, controlable y eficaz aunque no definitivo, aunando limpieza y estabilización para nuestro caso concreto de los objetos fabricados en hierro, necesitando ser complementario a otros métodos (sulfito o sosa) para obtener resultados óptimos. Resulta económicamente alto cuando se trata de intervenir sobre grandes objetos tales como cañones. Fue prácticamente obligado desde siempre en el tratamiento de piezas extraídas del mar. Los resultados que se han cosechado han sido valorados de forma diferencial teniendo en cuenta una serie de variables, como son: el tipo de metal, los productos de corrosión característicos a cada uno de ellos, el pH del electrolito con el que se trabaja y el potencial catódico de la corriente eléctrica. Este potencial a su vez depende de la densidad (intensidad/superficie); a través de la intensidad (A) se controla el tratamiento electrolítico (BERTHOLON, 2001: 93-94). La posibilidad de fragmentación de los objetos debido al hidrógeno ha constituido el motivo principal en contra de su utilización.

Requiere en principio que los metales cuenten con abundante núcleo o bien una epidermis conductora (grafítica), permaneciendo protegido, pues el baño acuoso donde se realiza el tratamiento, cuenta con un pH de carácter

básico y por lo tanto pasivante. Éste lo proporciona el electrolito (que se encuentra disuelto a baja concentración) ya que es necesario Hidróxido de Sodio al 2%, Hidróxido de Potasio al 2%, o Carbonato de Sodio al 5% (PEARSON, 1984: 97). Aunque también se han realizado experiencias con Sexquicarbonato y Sulfito de Sodio (BERTIN y LOEPER-ATTIA, 1999a; BERTHOLON y RELIER, 1990: 215), con el fin de aunar al carácter básico y conductor de estos productos sus propiedades declorurantes. No sabemos que se hayan observado ventajas. En tratamientos prolongados de objetos con grandes dimensiones (cañones p.ej.) será necesario cambiar el electrolito a intervalos regulares, debido a la saturación de cloruros que en este se produce por disolución. Cuando las piezas a reducir sean de gran tamaño y volumen y necesiten un apoyo inferior dentro de la cuba (Figura 5), se han de ir volteando también de forma periódica para ir exponiendo al electrolito todas las superficies por igual.

Es imprescindible la creación de un campo eléctrico de intensidad constante establecido entre dos polos, donde el objeto a tratar actúa de cátodo (-) a partir del núcleo de metal, y el ánodo (+) constituido por acero inoxidable; el electrolito conducirá el flujo de corriente de un polo a otro cerrando así el circuito. Esencialmente por medio de la electrolisis se descompone la molécula de agua, migrando el oxígeno al ánodo y el hidrógeno al cátodo (donde se encuentra el objeto) desprendiéndose en forma de burbujas. El proceso será controlado por medio de un amperímetro y un voltímetro; este último conectado a una célula o electrodo de referencia (en Francia de tipo ESS = Electrodo de Sulfato de mercurio I en sulfato de potasio Saturado, o bien ECS = Electrodo de Calomel en cloruro de potasio Saturado), que nos proporcionará la diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo (Tensión de Célula)⁸. La tensión (medida en Voltios -V-, microVoltios -mV- o miliVoltios - μ V-) así como la intensidad (medida en Amperios -A-, microAmperios -mA- y miliAmperios - μ A-) tendrán gran importancia y deberán estar en función del tamaño y el número de los objetos tratados⁹. Siempre se comenzará por potenciales bajos y se irán aumentando paulatinamente hasta conseguir los valores deseados. Como ejemplo y en un caso concreto como el de un cañón, el potencial aplicado fue de -1'8 V (ESS), y probando con otro algo más bajo (-1,5 V - ESS), a fin de fragilizar menos al objeto al producir menos hidrógeno, era necesario incrementar de forma considerable el tiempo de tratamiento (BERTHOLON, 2001: 94-95). De lo cual se infiere que es imprescindible un mayor tiempo de exposición del metal al agua, algo que para los metales en cualquier tipo de proceso deberá reducirse al mínimo necesario.

Este procedimiento de reducción transforma los hidróxidos que son reducidos a maganetita (Fe_3O_4) y los óxidos a metal. Los cloruros entonces son liberados a través de la capa de corrosión por electroforesis¹⁰ pasando a formar parte del baño. La decloruración producida es bastante homogénea en el objeto. Este efecto provoca que la difusión de burbujas de hidrógeno en el interior del metal reduzca volumétricamente esta masa y la haga muy porosa, lo que por una parte produce un beneficio, al abrir nuevos accesos al electrolito a través de grietas y poros, pudiendo disolver mayor número de iones

Cl^- , no solamente durante este proceso sino también a posteriori durante la segunda parte del tratamiento, utilizando sulfito o hidróxido sódico. Y por otra parte, libertad también para el mejor acceso del oxígeno, con el riesgo incrementado de nuevos procesos de oxidación (KEENE, 1991).

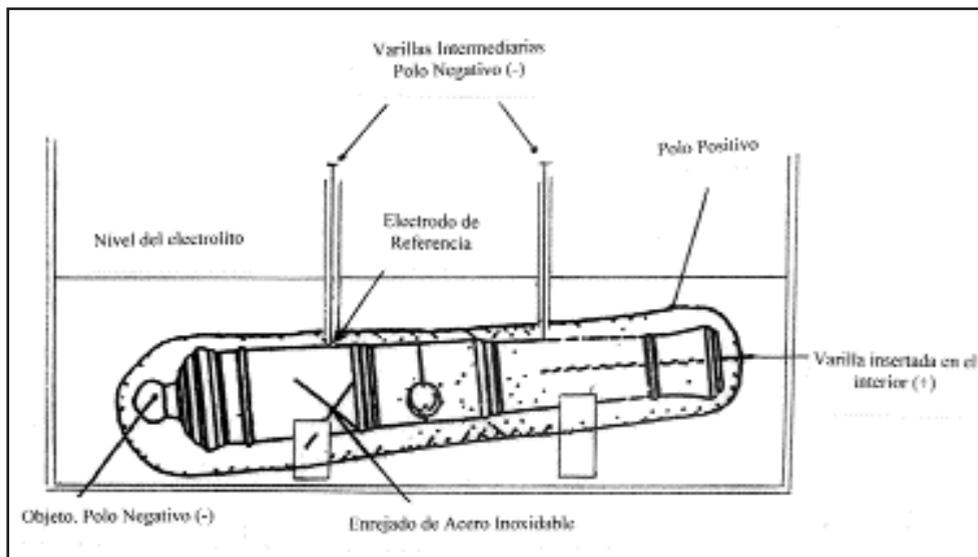


Figura 5: Ejemplo ideal de tratamiento electroquímico de una gran pieza de artillería de hierro colado (sg. N. Lacoudre y C. Degrigny)

Pero en cambio deja debilitado al objeto a causa de la gran porosidad adquirida en los productos de corrosión debido al hidrógeno liberado como dijimos anteriormente, contra lo cual, y experimentado por primera vez con éxito sobre pequeños objetos, se ha propuesto un tratamiento -tedioso por el momento- utilizando corriente pulsante (DALARD, GOURBEYRE y DEGRIGNY, 2002). Empleando hidróxido de potasio como electrolito, los objetos fueron reducidos en un baño cuya corriente era aplicada mediante impulsos de sesenta segundos, seguidos por pausas de treinta. La tensión requerida para el tratamiento era de $600 \mu\text{A}$ (microamperios), manteniendo una intensidad constante de 1400 mV (milivoltios). Lo que se lograba al cabo de cuatro horas de tratamiento continuado.

Para la limpieza y desalación de grandes piezas de artillería fabricadas en hierro colado (Figura 5) procedentes del mar se recomiendan bajas densidades de corriente entorno a $50 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ (NORTH, 1987: 225-226; ALMORAINA GIL, 2001: 89), mediante la cual se ha comprobado que es posible eliminar un promedio de 4,9 más de cloruros que con densidades superiores (CARLIN, O KEITH y RODRÍGUEZ, 2001).

Finalmente y como hemos referenciado brevemente con anterioridad, una vez finalizado este tratamiento se debería ver complementado con otro de

difusión mediante sulfito o hidróxido de sodio que analizaremos en siguientes apartados. De esta manera disolveremos cierta cantidad de cloruros residuales que, por el método electrolítico no es posible, consiguiendo un porcentaje óptimo (cuyos valores ofrecimos líneas atrás) con el que aseguraremos una estabilidad que la última investigación tecnológica parece asegurar. Para grandes objetos se considera recomendable además una protección catódica adicional tanto en exposición como en almacenamiento.

4.2.5. *Plasma de Hidrógeno a baja presión y t^a*. En la actualidad resulta el tratamiento más prometedor, ya que a la efectiva estabilización química se adiciona una no menos interesante limpieza de los productos deformantes. Aunque no obstante se ha visto mejorado en los últimos años de forma ostensible, aún presenta ciertas limitaciones. De tal manera que, para llegar a conseguir una muy eficaz decloración en un objeto de hierro, hemos de complementar con posterioridad el proceso de plasma con cualquiera de los dos (4.2.6. y 4.2.7. de los aquí reseñados) que a continuación se van a describir. De esta manera se cuadruplica el efecto, aunque la carestía económica del reactor necesario sobrepasa con creces la posibilidades económicas de buen número de profesionales y laboratorios. Está proporcionando asimismo buenos resultados en la limpieza de otros metales tales como oro, plata, acero, zinc o estaño (MOUREY, 1987: 52-54)

Podríamos definir al plasma como un estado particular de la materia, de tal manera que ha sido denominado como el cuarto estado. Básicamente es posible llevarlo a cabo de manera artificial (ya que tal estado no existe en la tierra) por medio de una corriente eléctrica, presión y alta temperatura con las que se ioniza a un gas puro y seco (Hidrógeno) o bien unión de gases (Hidrógeno-Argón/Hidrógeno-Metano-Ozono) haciéndolos conductores. De esta manera se alteran sus conocidas propiedades aislantes, ya que se encuentran formados por moléculas neutras. Se conocen dos tipos de plasma, caliente (aparte de iones y electrones hay partículas neutras, radicales moleculares, átomos etc.) y frío, no significando que éste último no produzca calor.

El proceso se realiza en un determinado reactor, cuyo principal componente es una cámara de vidrio o acero inoxidable en cuyo interior existen dos polos (ánodo y cátodo), entre los cuales y por medio de un generador se establece una corriente (1'6 KV) continua o pulsante. El objeto a tratar se sitúa entre ambos o bien actuando de cátodo (FORRIÈRES, 2001: 79). El aparato deberá contar con un sistema de seguridad dado el riesgo de explosión que supone utilizar los imprescindibles gases. Es necesario una cierta presión, hoy establecida entre -0'1 a -10 bar. En lo que a la temperatura se refiere, lo que en principio suponía un serio obstáculo, es quizás donde más se haya avanzado. En los primeros ensayos era necesario alcanzar los 800°C a presión atmosférica, lo que con el tiempo pudo reducirse hasta los 500° C, pero eran temperaturas demasiado elevadas pues alteraban la estructura metalográfica de los objetos. A posteriori pudo rebajarse hasta los 400°-300°C con baja presión lo que hizo conseguir una reacción más efectiva (ARNAUD-PERNOT *et alii*, 1993: 130; DUSSÈRE, 1999; NORTH, 1987: 227). Recientemente se han conseguido buenos resultados trabajando a 120° C. (SCH-

MIDT-OTT y BOISSONNAS, 2002). Este tratamiento que hasta entonces era logrado en ocho días ha podido ser rebajado hasta las 6-40 horas. Hace años trabajando a 400°C un cañón de hierro colado fue tratado en semana y media (PEARSON, 1984: 99-100).

El efecto que el plasma ejerce sobre los productos es de reducción, transformando los hidróxidos -después de haberlos deshidratado- a Hematites (FeO), y después a Magnetita estable; si continuásemos a mayor temperatura se podría conseguir su reducción a hierro metálico. Los cloruros son también reducidos y eliminados bajo la forma gaseosa de cloruro de hidrógeno (HCl). De esta manera es posible eliminar hasta un 2% en peso, lo que se establecía en un 90% empleando una temperatura de 400°C (NORTH, OWENS y PEARSON, 1976). A mayor temperatura es posible conseguir mayores efectos. Los objetos al final del tratamiento quedan porosos, fáciles de limpiar (bisturí, microabrasímetro, micromotor...) y con aspecto exterior de color negro (FORRIÈRES, 2001: 79-81).

Pero el efecto total de estabilización que es lo que aquí perseguimos aún no ha sido obtenido de forma satisfactoria por este sistema con plasma. Como los cloruros necesarios para dar por concluido el tratamiento, y por lo tanto, para dar por estabilizados los objetos aún no han sido eliminados, es necesario hacerlos solubles mediante un tratamiento complementario. Aprovechando la porosidad creada, más las grietas ya existentes previamente, la difusión se presenta como el método más idóneo, por lo cual es recomendable e imprescindible un tratamiento complementario por difusión de un par de meses. Según autores, antaño se recomendaba el NaOH al 2% (NORTH y PEARSON, 1978a; PEARSON, 1984: 99-100), o bien sulfito según el protocolo que veamos seguidamente (DUSSÈRE, 1999; SCHMIDT-OTT y BOISSONNAS, 2002).

Las investigaciones sobre este prometedor sistema que se iniciasen en el Museo de Londres continúan desde Suiza (Museo Nacional de Zurich), Francia (Escuela de Minas de Nancy, Lab. de Física de Gases y Plasma de la Univ. de Paris-Sur y Museo Val-d'Oise), Rep. Checa (Museo de Roztoky), Egipto (Universidad de Zagazig) y Grecia (Centro Nacional de Inv. Científica "Democritos" en Atenas).

4.2.6. *Sulfito de Sodio*: A principios de los años setenta del pasado siglo XX, N.A. North y C. Pearson, a partir del mejor conocimiento del ion cloruro en el seno de los productos de corrosión del hierro arqueológico, motivo de la inestabilidad y posterior destrucción de los objetos una vez son extraídos durante la excavación, propusieron un eficaz y entonces revolucionario tratamiento (NORTH, 1987, 222-223; NORTH y PEARSON, 1975). Tuvo gran repercusión y fue ampliamente utilizado por los profesionales ya que suponía un sistema eficaz, barato, sencillo y no afectaba en absoluto a los objetos; verdaderamente resultó un portentoso avance. Se basaba en la utilización de sulfito de sodio (Na_2SO_3) un producto utilizado hasta entonces como conservante en la industria de alimentos, y que resultaba ser un buen reductor de los productos de corrosión del hierro, actuando electroquímicamente, dejando libres a los cloruros que pasan a formar parte

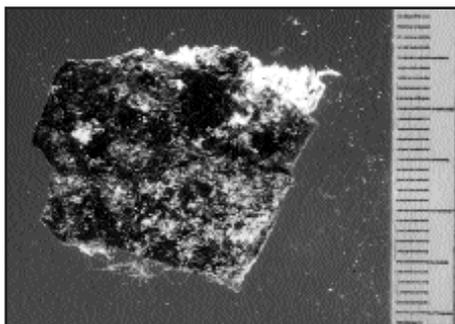


Lámina VII: Eflorescencias de sales de sulfato en un objeto tratado con sulfito y no neutralizado a su conclusión con hidróxido de Bario

de la disolución. El tratamiento se lleva a cabo en un ambiente pasivante que proporciona la presencia del hidróxido de sodio. La disolución percola fácilmente, ya que su tensión superficial es dos veces menor que la del agua, además de consolidar y estabilizar los lechos de corrosión. Las primeras experiencias fueron llevadas a cabo con objetos extraídos de los pecios.

Aún no se conocen bien todos los procesos del sulfito en la zona interna de los objetos tratados con respecto a la composición de tales productos de corrosión, y su relación al medio ambiente que reina-

ba en cada enterramiento, demostrando que el método es más efectivo sobre objetos recientemente excavados que sobre los que llevan tiempo almacenados (GILBERT y SEELEY, 1982). Actúa por difusión, no crea tensión mecánica alguna y reduce a Magnetita estable los hidróxidos que encierran cristales de cloruro en su interior. Es necesario tener precauciones con los objetos con zonas plateadas, y de cobre, sobre los que forma depósitos negros aún sin determinar, disuelve el estaño y daña a los objetos frágiles muy mineralizados (KEENE, 1991).

El tratamiento comienza con la preparación de una disolución compuesta por 63 g/l de sulfito de sodio y 20 g/l de hidróxido de sodio. Se introducen los objetos que deberán quedar cubiertos por completo por la disolución, se tapará con el fin de que el oxígeno no transforme el sulfito en sulfato (Lámina VII) que provocaría un efecto de oxidación¹¹ contrario a lo que se desea, y finalmente se eleva y mantiene la temperatura hasta los 50°C agitándolo si es posible para favorecer la disolución. De todas formas el intervalo frío-calor-frío, también favorece en este caso la disolución de sales. Durante todo el proceso es conveniente ir midiendo la concentración de cloruros en el baño y trasla-



Lámina VIII: Reoxidación de un puntero romano tras varios meses después de haber sido tratado con sulfito alcalino

dando estas medidas a una gráfica, de tal manera que podamos determinar el momento del cambio de la disolución cuando se encuentre saturada (SKINNER, 1983). No obstante, si esto no es posible se propuso un cambio "a tanteo" (tras la experiencia acumulada por el autor a lo largo de años), una vez hubiesen transcurrido el 1º, 3º y dando por finalizado el tratamiento en el sexto mes (MOUREY, 1988: 102). Lo que si bien no es un método infalible, no cabe duda que en muchos

casos dio resultado sirviendo como parámetro para los cambios y el punto final. Una vez acabado el tratamiento, los objetos deben ser bien aclarados con agua desionizada y posteriormente con Hidróxido de Bario [$Ba(OH)_2$] al 30%, a fin de neutralizar los restos de sulfito mediante la transformación de éstos en bario estable evitando su conversión en sulfato (Lámina VII).

Con posterioridad al descubrimiento, los estudios de Rinuy y Schweizer en Suiza comprobaron la eficacia del tratamiento; superior la eliminación de cloruros¹² hasta en cinco veces la del resto de los conocidos entonces. Años después, nuevas investigaciones comprobaron que la inclusión de los objetos en baños que superaban en tres veces su volumen, o también, un litro por cada pequeño objeto, ponían en evidencia una eficaz decloruración y reducían el tiempo de tratamiento a seis semanas. Con cinco cambios de la disolución durante ese tiempo (BERTIN y LOEPER-ATTIA, 1999; LOEPER-ATTIA y WEKER, 1997: 165).

Pero no todo resultó tan positivo (Lámina VIII). Un equipo de especialistas dirigidos por A. Bandoín (BANDOIN *et alii.*, 1997) interpuso incertidumbres en este tratamiento y dudó de su eficacia, aduciendo que estaba mal evaluado. Partió de 107 hachas de hierro que habían sido tratadas por este método (en 800 Lts., durante seis meses con calor y agitación). Al cabo de dos años de exposición, la oxidación se reanudó, apareciendo en superficie pequeñas pústulas troncocónicas (5-10 mm \varnothing) que se elevaban de sus respectivos cráteres. Tras su estudio se comprobó que no todos los cloruros habían sido reducidos a Magnetita y Goetita como se creía. En la interfase metal-productos de corrosión se hallaron pequeñas bolsas o islotes de cloruro, siendo éstos los responsables de la reoxidación. Este fenómeno de reoxidación también fue puesto en evidencia por Skinner (1982:14)

Se comprobó que el sulfito presentaba un grave inconveniente al no penetrar en la totalidad de los productos de oxidación/corrosión, abandonando peligrosos cloruros sin transformar. A partir de lo cual, y tras la evaluación práctica correspondiente, propusieron que este método de difusión fuese complementario a otros, como por ejemplo, un tratamiento electroquímico durase veinte días y utilizase sulfito como electrolito en solución agitada y caliente a 25°C, empleando un ánodo de acero inoxidable. Seguido de otro tratamiento más de tipo electrolítico durante 193 horas, empleando una tensión de 1'44 V. De esta manera, eliminaron en la primera fase electroquímica hasta un 72% del total de las sales extraídas una vez hubo acabado. De ellas, el 84% fueron disueltas en las primeras 240 horas. El 28% restante fue eliminado en la segunda parte electrolítica; en ésta, el 80% fue disuelto tras las primeras 67 horas. En conclusión, 3/4 partes de los cloruros fueron eliminados en la primera parte y algo más de 1/4 en la segunda, interpretando que en esta última parte del tratamiento quizás por electroforesis se conseguía llegar a lugares más inaccesibles.

4.2.7. *Hidróxido de Sodio (NaOH)*: Se emplea como alternativa al anterior producto desde los años noventa de pasado siglo, y como aquel actúa por difusión entre los productos de oxidación. No obstante, en la primera edición

en lengua inglesa publicada en 1956 del clásico tratado de H. Plenderleith, este autor ya apuntaba la posibilidad de eliminar los cloruros presentes en los objetos de hierro mediante NaOH, que inclusive acertadamente le atribuía la hoy la bien conocida capacidad inhibidora (PLENDERLEITH, 1967: 316, 318-319). Era recomendado para aquellos objetos frágiles que no podían resistir la reducción electrolítica. W. Mourey (1987: 102) calificó este tratamiento como de eficacia parcial y larga duración, ideal para objetos de hierro extraídos del mar que no presentaban demasiada corrosión.

Los baños de inmersión requieren una baja concentración de Hidróxido Sódico (2%) que actúa por difusión en los productos de corrosión del hierro, disolviendo los cloruros metálicos y transformándolos en iones libres que pasan a la disolución:



Este producto actúa además como eficaz inhibidor metálico al eliminar el oxígeno presente. Como en el tratamiento a base de sulfito, necesita calor (50°C) para acelerar y dar eficacia a la disolución, así como movimiento. Los cambios periódicos de la solución se deberían hacer cuando los test o las mediciones así lo aconsejen, aunque en principio se ha seguido utilizando el protocolo del tratamiento a base de sulfito: el primero después de pasado un mes, el segundo después de dos meses, y finalizando el tratamiento después de transcurridos otros tres meses más.

Es un tratamiento que junto al anterior dio los mejores resultados entre los que examinó (1º, 2º y 4º de los aquí reunidos) S. Keene (1991), si bien no recomienda su utilización en objetos que presenten restos de estaño pues llega a disolverlos. La Tesis Doctoral de J. Mª Alonso García (1997) -aún no publicada- recoge la investigación llevada a cabo sobre los efectos desaladores de este producto en artefactos de hierro antiguo de procedencia terrestre. Llega a la conclusión que no es posible extraer la totalidad de los cloruros, comprobando que la alternancia periódica de la temperatura (frío-calor-frío) acelera en el doble la citada disolución.

Si bien puede efectuarse un test visual ya clásico con Nitrato de Plata -NO₃Ag- (SEMCZAK, 1977), la concentración de iones Cl⁻ en el baño debe ser medida con regularidad y los resultados pasados a una gráfica, en cuyos ejes se vean reflejados la proporción entre la cantidad de cloruros eliminados y la raíz cuadrada del tiempo empleado. De esta manera observó que cinco días de tratamiento, fueron suficientes para estabilizar sus objetos, así como también que este tratamiento no

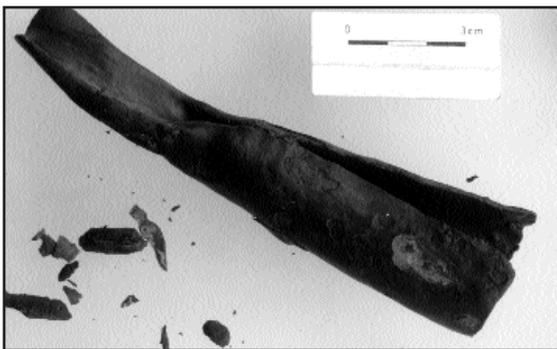


Lámina VI: Herramienta protohistórica recubierta por una pátina de magnetita después de algunas semanas después de finalizado el tratamiento, y habiendo sido estabilizada mediante NaOH

tiene exactamente el mismo grado de efectividad en un objeto de procedencia terrestre que en otro de procedencia submarina (ALONSO GARCÍA, 1996b).

Por nuestra parte hemos de decir después de haberlo experimentado repetidas veces y además de las experiencias que pudimos observar en el Laboratorio de Draguignan al frente del cual se encontraba el Dr. William Mourey, que, si bien se trata de un tratamiento del cual se obtienen buenos resultados, los cloruros verdaderamente no son extraídos en su totalidad. De tal manera que, por ejemplo en pátinas tersas, continuas y escasamente porosas como las de Magnetita que posiblemente fueron confeccionadas de manera artificial según las más recientes investigaciones (ALONSO LÓPEZ, CERDÁN y FILLOY NIEVA, 1999), el producto no es capaz de percolar lo suficiente como para disolver la totalidad de los cloruros existentes bajo ella en la interfase metal-productos de corrosión (Lámina VI).

5. Consideraciones finales

El resultado final de todo este escrito es de cierto desencanto, aunque si bien es verdad ampliamente esperanzador. La decloruración absoluta de cualquier antiguo artefacto de hierro actualmente no es posible, pero se han alcanzado muy altas cotas de experiencia, conocimiento, así como óptimos resultados tras miles de ensayos y trabajos. De tal manera que, desde un punto de vista óptimo y a partir de nuestra actual tecnología, podemos asegurar que es factible alcanzar una estabilidad físico-química real, muy lejos de lo que se podía soñar hace décadas. Si bien es verdad que resulta más efectiva en objetos de pequeño y mediano tamaño (sobre todo extraídos del ecosistema tierra), que sobre grandes piezas fundidas que han permanecido varios siglos en el lecho marino.

Los cloruros forman parte insoslayable de la vida de cada objeto, y como tal, han dejado una huella indeleble en la historia de cada uno. Por lo cual, no daremos por definitivo ningún tratamiento. El profesional deberá ser cauto, sopesar y reflexionar de forma responsable cada caso específico dentro de una problemática general en constante aprendizaje, con el fin de tomar una decisión lo más acorde con las necesidades. En función siempre de la “espada de Damocles” que constituyen las posibilidades reales (económicas fundamentalmente), y que pende de cada laboratorio.

Hay que aceptar que aún no se ha descubierto ni un tratamiento único ni totalmente eficaz. La adición de las ventajas proporcionadas de forma complementaria por diferentes métodos de estabilización aquí descritos, es lo que hoy por hoy nos ofrece plenas garantías. Seguido además por los ineludibles cuidados medioambientales de humedad y temperatura.

Desconocemos aún muchos aspectos de la naturaleza y el comportamiento de las sales en el hierro. Ecosistemas secundarios de enterramiento y almacenamiento hay muchos y cada pieza es un mundo en sí mismo, por lo cual los resultados también pueden ser variables. Y así, la acción de los tratamientos es posible que de lugar a resultados no esperados, e incluso ambiguos tanto en sentido positivo como negativo. De todo esto y entre otras

motivaciones suele ser responsable la indeterminada cantidad de cloruros que, de forma residual, indefectiblemente siempre permanece como dijimos en el seno de cada objeto, y que aparentemente no produce una reacción secundaria de oxidación siempre y cuando su volumen no exceda de los parámetros ya vistos.

Bibliografía

- ALONSO GARCÍA, J. M^a. (1996a): “Tratamientos *in situ* de hierro arqueológico de procedencia terrestre”, *2ª Reunión Nacional de Restauradores de BB.CC. Arqueológicos* (texto en disquete), Albacete, 19-22.
- ALONSO GARCÍA, J. M^a. (1996b): “Estudio comparativo de estabilización de hierro forjado arqueológico”, *Actas del XI Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales Vol.II*, Castellón, 801-805.
- ALONSO GARCÍA, J. M^a. (1997): Metodología y técnicas de conservación de objetos arqueológicos de hierro: estudio cuantitativo y comparado de la estabilización de ocho objetos del yacimiento medieval de Medina Elvira (Granada), *Tesis de Doctorado en Microficha, Universidad de Granada*, Granada.
- ALONSO LÓPEZ, J., CERDÁN, R. y FILLOY NIEVA, I. (1999): Nuevas técnicas metalúrgicas en armas de la II Edad del Hierro, *Diputación Foral de Alava*, Vitoria.
- ALMORAIMA GIL, M. L. (2001): “Extracción de cloruros de piezas arqueológicas metálicas recuperadas del fondo del mar”, *Boletín del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico* 35, Sevilla, 87-89.
- ARNAUD-PERNOT, P. *et alii* (1993): “Optimisation d’un traitement de déchloruration d’objets archéologiques ferreux par plasma d’hydrogène”, *Groupe ICOMcc – SFIC Section Métal, Actes de la 7e Rencontre Annuelle du Groupe de Trarail* (S. PENNEC y L. ROBBIOLO eds.), Draguignan, 93-111.
- BARRIO MARTÍN, J. (1994): “Proyecto de restauración/conservación de un cuchillo afalcatado de hierro del Castejón de Capote (Badajoz)”, *El Altar Prerromano del Castejón de Capote*, Madrid, 303-306.
- BARRIO MARTÍN, J. (1996): “Metodología de investigación en los procesos de deterioro de los hierros prerromanos”, *Actas del XI Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales Vol.II*, Castellón, 921-936.
- BARRIO MARTÍN, J. y HERMANA MENDIOROZ, F. (1998): “Arqueometría y conservación de metales antiguos: el caso de los hierros de Capote”, *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad Autónoma de Madrid* 25(1), Madrid, 35-70.
- BARRIO MARTÍN, J. y HERMANA MENDIOROZ, F. (1999): “Méthode de conservation et restauration d’une falcata ibérique de la nécropole de El Salobral (Albacete, Espagne)”, *Metal* 98 (L. ROBBIOLO y W. MOUREY eds.), London, 177-184.
- BEAUDOIN, A. *et alii* (1997): “Corrosion d’objets archéologiques en fer après déchloruration par la méthode au sulfite alcalin”, *Métal* 95, London, 170-177.

- BERGA CELMA, C. (1999): "Armas de la IIª Edad del Hierro. Museo de Ávila", *Castilla y León Restaura 1995-1999*, Valladolid, 346-351.
- BERTHOLON, R. (2001): "Nettoyage et stabilisation de la corrosion par électrolyse", *La Conservation des Métaux* (C.VOLFOVSKY ed.), Paris, 83-101.
- BERTHOLON, R. Y RELIER, C. (1990): "Les métaux archéologiques", *La Conservation en Archéologie* (M. C. BERDUCOU ed.), Masson, Paris, 163-221.
- BERTIN, F. y LEOPER-ATTIA, M.-A. (1999a): "Réflexions autour de l'optimisation du traitement par le sulfite alcalin", *A la Recherche du Métal Perdu*, Paris, 113
- CARLIN, W., KEITH, D. Y RODRÍGUEZ, J. (2001): "Less is more: measure of chloride removal rate from wrought iron artifacts during electrolysis", *Studies in Conservation* 46(1), London, 68-76.
- CANEVA, G., NUGARI, M. P. Y SALVADORI, O. (2000): La biología en la restauración, *Editorial Nardini y Junta de Andalucía*, Hondarribia.
- CATALÁN MEZQUÍRIZ, E. (1991-92): "Informe sobre recuperación y restauración de una reja romana procedente de Arellano", *Trabajos de Arqueología Navarra 10*, Pamplona, 369-380.
- DALARD, F., GOURBEYRE, Y. Y DEGRIGNY, C. (2002): "Chloride removal from archaeological cast iron by pulsating current", *Studies in Conservation* 47 (2), London, 117-127.
- DUSSÈRE, F. (1999): "Réactions mises en jeu dans le traitement des objets archéologiques", *A la Recherche du Métal Perdu*, Paris, 139-141.
- FABECH, E. W. y TRIER, J. (1978): "Notes on the conservation of iron, especially on the heating to redness and the lithium hydroxide methods", *ICOM Committee for Conservation 5th Triennial Meeting*, Zagreb.
- FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. (1988a): "Bibliografía en lengua castellana sobre conservación y restauración de materiales arqueológicos", *Conclusiones y Ponencias del Vº Congreso de Restauración de Bienes Culturales, Actas del VIº Congreso de Conservación de Bienes Culturales*, Tarragona, 351-360.
- FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. (1988b): "Bibliografía en lengua castellana sobre conservación y restauración de materiales arqueológicos (II)", *Actas del VIº Congreso de Conservación de Bienes Culturales*, Tarragona, 185-191.
- FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. (1990): "Bibliografía en lengua castellana sobre conservación y restauración de materiales arqueológicos", *Trabalhos de Antropología e Etnología*, XXX, Porto, 195-203.
- FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. (1994): A chave romana da cidade de Ourense, *Ayuntamiento de Ourense*, Ourense.
- FORRIÈRES, C. (2001): "La stabilisation des fers archéologiques", *La Conservation des Métaux* (C.VOLFOVSKY ed.), Paris, 73-82.
- GILBERT, M. R. Y SEELEY, N. J. (1982): "The alkaline sodium sulphite reduction process for archaeological iron a closer look", *Studies in Conservation* 53(1), London, 4-7.
- GÓMEZ VIZCAÍNO, A. (1997): "Recuperación y restauración de los caño-

- nes del Farallón (La Manga, Cartagena)”, *Actas del XXIV Congreso Nacional de Arqueología* Vol.5, Cartagena, 39-42.
- KEENE, S. (1991): “Real time survival rates for treatments of archaeological iron”, *Ancient and Historic Metals Conservation and Scientific Research*, Los Angeles, 249-264.
- LOEPER-ATTIA, M.-A. y WEKER, W. (1997): “Déchloruration d’objets archéologiques en fer par la méthode du sulfite alcalin à l’IRRAP”, *Métal* 95, London, 162-166.
- LÓPEZ MARCOS, M. A. (1987): “Los condicionantes de la corrosión de los metales sumergidos”, *Pátina* 2, Madrid, 30-37.
- LORRIO, A. J., ROVIRA, S. y GAGO BLANCO, F. (1998-99): “Una falcata damasquinada procedente de La Plana de Utiel (Valencia): Estudio tipológico, tecnológico y restauración”, *Lvcentvm XVII-XVIII*, Alicante, 149-161.
- MACLEOD, I. D. (1996): “The electrochemistry and conservation of iron in sea water”, *Marine Archaeology. The global perspectives* Vol. II, Delhi, 358-363.
- MARTÍN-BUENO, M. y AMARÉ, J. (1983): “Tratamiento y conservación”, *La Nave de Cavoli y la Arqueología Subacuática en Cerdeña*, Zaragoza, 67-75.
- MOUREY, W. (1987): *La conservation des antiquités métalliques*, Draguignan.
- MOUREY, W. (1993): “Procesos de alteración, análisis y conservación de los metales antiguos”, *Arqueología y Conservación* (C. FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, L. CASTRO PÉREZ y F. PÉREZ LOSADA eds.), Xinzo de Limia, 43-60.
- NORTH, N. A. (1987): “Conservation of metals”, *Conservation of Marine Archaeological Objects*, London, 207-252.
- NORTH, N. A. y PEARSON, C. (1975): “Alkaline sulphite reduction treatment of marine iron”, *ICOM Committee for Conservation 4th Triennial Meeting*, Venice, 75.13.3/1-14.
- NORTH, N. A., OWENS, M. y PEARSON, C. (1976): “Thermal stability of cast and wrought marine iron”, *Studies in Conservation* 21(3), London, 192-197.
- NORTH, N. A. y PEARSON, C. (1978a): “Methods for treating marine iron”, *ICOM Committee for Conservation 5th Triennial Meeting*, Venice, 78.23.3/1-10.
- NORTH, N. A. y PEARSON, C. (1978b): “Washing methods for the chloride removal from marine artefacts”, *Studies in Conservation* 23(3), London, 174-186.
- ODDY, W. A. y HUGHES, M. J. (1970): “The stabilization of “active” bronze and iron antiquities by the use of sodium sesquicarbonate”, *Studies in Conservation* 15(3), London, 183-189.
- PEARSON, C. (1984): “La conservation du patrimoine subaquatique”, *La Sauvegarde du Patrimoine Subaquatique, UNESCO, Cahiers Techniques Musées et Monuments* 4, Paris, 79-136.
- PÉREZ GUERRA, J. y BOUZAS ABAD, A. (1997): “Tratamiento de restauración aplicado a una caja de clavos y otras piezas de hierro halladas en el galeón español *Nuestra Señora de Guadalupe*”, *La Aventura del Guadalupe*, Editorial Lunweg, Barcelona, 46-47.
- PLENDERLEITH, H. J. (1967): *La conservación de antigüedades y obras*

de arte, Madrid.

- PLENDERLEITH, H. J. y WERNER, A. E. A. (1971): *The conservation of antiquities and works of art*, Oxford University Press, London (2ª edición).
- PORTA I FERRÉS, E. (1988): “Conservación de hierro arqueológico. 3 Falconetes de los siglos XV-XVI encontrados en Vilanova i la Geltrú”, *Actas del VIº Congreso de Conservación de Bienes Culturales*, Barcelona, 227-228.
- POURBAIX, M. (1987): *Lecciones de corrosión electrolítica*, Madrid.
- REES-JONES, S. G. (1972): “Some aspects of conservation of iron objects from the sea”, *Studies in Conservation* 17(1), London, 39-43.
- RINUY, A. y SCHWEITZER, F. (1981): “Méthodes de conservation d’objets de fouilles en fer: étude quantitative comparée de l’élimination des chlorures”, *Studies in Conservation* 26(1), London, 29-41.
- RINUY, A. y SCHWEITZER, F. (1982): “Application of the alkaline sulphite treatment to archaeological iron: a comparative study of different desalination methods”, *Conservation of Iron*, National Maritime Museum, Greenwich, 44-49.
- SARABIA ROGINA, P. (1988-98): “Dos pipas y dos cañones procedentes de la mar”, *Publicaciones del Instituto de Estudios Marítimos “Juan de la Cosa” VII*, Santander, 149-166.
- SCHMIDT-OTT, K. y BOISSONNAS, V. (2002): “Low-pressure hydrogen plasma: an assessment of its application on archaeological iron”, *Studies in Conservation* 47(2), London, 81-87.
- SELWYN, L. S., SIROIS, P. J. y ARGYROPOULOS, V. (1999): “The corrosion of excavated archaeological iron with details on weeping and akaganite”, *Studies in Conservation* 44(4), London, 217-232.
- SEMCZAK, C. M. (1977): “A comparison of chloride test”, *Studies in Conservation* 22(1), London, 40-41.
- SKINNER, T. (1983): “Some aspects of the alkaline sulphite method for the treatment of marine archaeological iron”, *The Scottish Society for Conservation & Restoration. Bulletin 1*, Edinburgh, 12-16.
- TURGOOSE, S. (1982): “Post-excavation changes in iron antiquities”, *Studies in Conservation* 27(2), London, 97-101.
- WALKER, R. (2001): “Instability of iron sulfides on recently excavated artifacts”, *Studies in Conservation* 46(2), London, 141-152.
- WERNER, C. (1999): “Déchloruration des ferreux au sulfite alcalin”, *A la Recherche du Métal Perdu*, Editions Errance, Paris, 107-111.
- ZAMBRANO VALDIVIA, L. C. y BETHENCOURT NÚÑEZ, M. (2001): “Conservación y registro arqueológico en el yacimiento submarino Bucentaure II de La Caleta, Cádiz”, *Boletín del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico* 36, Sevilla, 83-90.
- _____ (2000): “PCR “fers chlorurés“ (Arc` Antique / LAM / IRRAP / labo. De Guiry-en-Vexin)”, *Bulletin d`Information sur la Recherche Appliquée à la Conservation-Restauration* 4, ICOM-CC / Groupe Métal, 2-3.

Notas

¹ Deseamos agradecer sinceramente la amabilidad del Prf. Joaquín Barrio el habernos proporcionado dos de las láminas que incluimos en este trabajo, por él obtenidas, así como el permiso para su reproducción.

² El flujo constante de electrones en masa produce un exceso que a su vez se combinan con el hidrógeno allí formado y produciendo a su vez un nuevo exceso esta vez de iones OH⁻, lo que provoca que la alcalinidad aumente y pasive a la zona catódica.

³ La corrosión de tipo electroquímico se produce de forma puntual en la superficie de los objetos a partir de las heterogeneidades allí existentes. Estas forman potenciales diferentes y por lo tanto zonas anódicas y catódicas entre las que se establece una corriente eléctrica en presencia de un electrolito.

⁴ Se puede considerar al agua de mar como una gran disolución sódica, cuyos componentes y concentraciones son variables: cloruro sódico (77'8%), cloruro de magnesio (10'9%), sulfato de magnesio (4'7%), sulfato de calcio (3'6%), sulfato de potasio (2'5%) y carbonato de calcio (0'5%).

⁵ En una sección efectuada en uno de los caños procedente del pecio de Cavoli se pudo medir el grosor de la costra superficial en ± 35 mm, y el metal, cuya superficie presentaba algunos milímetros de grafito, 30 mm. (MARTIN-BUENO y AMARÉ, 1993: 69)

⁶ Pearson eleva la proporción hasta un 10% (PEARSON, 1984: 97).

⁷ Deberá tenerse en cuenta que esta solución contiene 4 ppm de cloruro, y por lo tanto esta cantidad deberá ser descontada en el valor de cada medición.

⁸ Sería también conveniente durante el tratamiento ir tomando sobre el objeto el potencial de corrosión mediante un electrodo Ag/AgCl y el Ph, e ir trasladando las mediciones a un diagrama de Pourbaix (POURBAIX, 1987) con el fin de asegurarnos que va poco a poco accediendo o ya se encuentra en la zona de pasividad (Zambrano Valdía y Bethencourt Núñez, 2001).

⁹ Hace años quedaron establecidos unos límites máximos valores tales como 0-50 A. y 0-12 V. (PEARSON, 1984: 97). Actualmente y en función de las intensidades que se aconsejan, consideramos que tales valores son excesivos debido al peligro que supone para los objetos el volumen tan desmesurado de hidrógeno.

¹⁰ Proceso por el cual se produce una migración iónica de un polo a otro debido a la diferencia de potencial entre ambos. Las sales disueltas en el agua circundante actúan como electrolito.

¹¹ Hay quien recomienda que antes de cerrar el recipiente se insufla nitrógeno (Werner, 1999: 108), suponemos que para eliminar por completo el oxígeno y evitar que reaccione con el sulfito. Quizás esto pueda ser sustituido por el llenado completo del recipiente utilizado para la dechloruración.

¹² En los laboratorios franceses de LAM y IRRAP se llevó a cabo hace años una nueva y sencilla comprobación de la eficacia del tratamiento mediante sulfito con dos grandes grupos de objetos de hierro; A –compuesto por 1400 y B– de 900. Sólo el primero de ellos fue tratado. Al cabo de tres años se comprobó que del primero había reoxidado el 8%, mientras que en el segundo la cifra se elevó al 46%. Según la experiencia adquirida se extrajeron las siguientes conclusiones cara a la mejor conservación del hierro arqueológico: se obtienen mejores resultados si el tratamiento es realizado antes de los tres años posteriores a la exhumación de los objetos, si este se prolonga en el baño asegurando y favoreciendo la disolución, y en cualquier caso si son almacenados en lugares con H.R. inferior al 40%.

LAS SALES Y SU INCIDENCIA EN LA CONSERVACIÓN DE LA CERÁMICA ARQUEOLÓGICA

Carmelo FERNÁNDEZ IBÁÑEZ
Museo de Palencia. Plaza del Cordón s/n, 34001 Palencia
carmelofdez@delfin.retecal.es

1. Introducción

Es un hecho fehaciente el que la cerámica, ya sean recipientes completos o en cientos de fragmentos, es la materia que, con mucha diferencia, se recoge en más cantidad y variedad de los yacimientos arqueológicos. Se puede asegurar que el incremento de su aparición en número y volumen aumenta con el devenir de las culturas.

Todo investigador que se encuentre familiarizado con ella sabe de su acusada resistencia físico-química, y que aún con naturales límites se hace difícil su total y absoluta destrucción. No obstante se encuentra sujeta a cierto tipo de alteraciones que, con el paso del tiempo y una vez se encuentra lejos de los ecosistemas (tierra o agua) donde ha permanecido milenios, puede verse seriamente dañada, y con ella la información que aporta al conocimiento.

Roturas, abrasiones, pérdidas de materia, minerales secundarios, manchas orgánicas e inorgánicas... y un buen número más de alteraciones, forman de por sí una tan conocida como extensa lista. Entre todas ellas hay dos que no hemos citado y que siempre se han considerado importantes, por otra parte muy comunes a buen número de los hallazgos. Y lo que es aún más importante, con posibilidades de ser erradicadas. La historiografía las documenta prácticamente desde los orígenes de los tratamientos el pasado siglo, además (y quizás por ello) de constituir serios problemas de conservación a largo plazo y cara a su estudio histórico, cuya magnificación además en objetos sumergidos es manifiesta.

Nos estamos refiriendo más en concreto a un aspecto de la conservación cerámica tan importante como son las sales, tanto solubles como insolubles. Su problemática hoy, contrariamente quizás a lo que pueda creerse, es algo tan común como poco conocida. Los procesos, mecanismos y ritmo de sus comportamientos físico-químicos de absorción, eflorescencia y disolución suponen conocimientos en buena parte ignotos y que van siendo investigados por algunos profesionales, aunque a un ritmo más bien pausado en comparación con otro tipo de problemáticas. Son tratamientos que siempre hemos creído sencillos y con escasa dificultad, aunque en pura realidad, dificultad es precisamente lo que tienen.

El tema creemos es idóneo en esta monografía, debido a que las sales for-

man parte insoluble del entorno submarino en especial, y subacuático en general. Así como también son frecuentes las formaciones de duras costras. Resulta ineludible acometer una empresa de arqueología subacuática, sin contar, entre la infraestructura, con equipos de desalación y limpieza química. Por lo tanto, también acometemos en este estudio los diferentes modos de estabilización y limpieza, lo que indudablemente cuenta con un doble valor al poder ser aplicada toda la información que aquí aportamos también a los hallazgos terrestres.

2. Tipos y características

Las sales son minerales cuya presencia es muy abundante tanto bajo tierra como en el mar, donde en este último se encuentran presentes en una tasa de aproximadamente 35 g/kg (35 ‰) de agua, aunque esta cantidad varía según las características de cada masa acuosa¹. Se conocen un gran número de tipos de sales (siendo los más abundantes los cloruros de calcio y magnesio) y la importancia de su conocimiento en los diferentes ecosistemas ha ido creciendo, desde que B. Palissy demostrase ya en el siglo XVI la importancia que tienen en el subsuelo. Una de sus principales características y que para nosotros tiene una gran trascendencia, es la capacidad y facilidad de disolución en el agua y por lo tanto también de absorción (higroscopicidad). De tal manera que su presencia en el terreno supone que ha llegado a través de las capas freáticas disuelta en el agua y que, previamente, la ha disuelto al pasar por un estrato sólido, bien depositada en un lugar secundario bien habiendo sido precisamente transportada por ella (GUINEA LÓPEZ, 1953: 33). También las sales provienen de antiguas o modernas deposiciones orgánicas en descomposición como pueden ser cadáveres, cenizas, etc.

El efecto tan pernicioso que estos minerales tienen en la cerámica es conocido ya de antaño (PLENDERLEITH, 1967: 376-377), traducándose en eflorescencias de sus cristales (Lámina I) al haberse impregnado con el agua que las contenía en disolución, y que formaba parte de forma natural de

los ecosistemas (tierra o agua) en los que durante milenios los objetos de cerámica han permanecido. Por ello son motivo frecuente de su alteración, tanto de tipo físico como roturas, deformaciones, descamaciones, costras... y/o bioquímico como transformaciones en sus componentes, manchas, etc. (PETERAKIS, 1987; PICON, 1976: 164-165; JEDREZJEWSKA, 1970)

La penetración del agua se lleva a cabo por capilaridad a través de los poros existentes en la



Lámina I: Eflorescencias de Coluro Sódico sobre una lucerna romana

masa cerámica (Figura 1), y cuyas características físicas de %, volumen, diámetro, etc. dependen de cada tipo cerámico² y grado de conservación. La porosidad es una de las características naturales de muchas materias sólidas, estableciendo por medio de ella el contacto y los intercambios con el medio exterior que las rodea, y por lo tanto siendo responsable de su estabilidad. Si bien, ésta migración de soluciones salinas desde el exterior hacia el interior de la cerámica y viceversa, se rige por las leyes de capilaridad y su transporte por el llamado “gradiente de humedad”. Es decir, que migrará desde las zonas húmedas hacia las secas hasta impregnar totalmente a éstas. Debemos tener también en cuenta que en la cerámica penetran diferentes tipos de sales en proporciones así mismo distintas.

Qué duda cabe de que el diámetro de los poros y la velocidad de evaporación, y la relación entre ambos, son dos importantes factores que directamente inciden tanto en la absorción como en la desalación. Lo que en un tamaño y definición mínimos -por ejemplo en este último caso- actúan en detrimento de la extracción de las sales; resultaría todo lo contrario en magnitudes mayores.

Una vez se encuentran las sales ya en el interior de la masa cerámica, al estar expuestas a una humedad relativa (H.R.) baja, cristalizan en el interior de los poros y las más solubles se emplazan en la zona exterior de éstos. Al ir paulatinamente evaporando el agua que retienen forman las primeras eflorescencias (*subeflorescencias*)³. Este fenómeno es el que entraña mayor peligro y riesgo ya que al aumentar de tamaño crean presiones en cuña superiores a 100 Atmósferas y desencadenan tensiones internas, unido a que cada tipo salino cristaliza a una

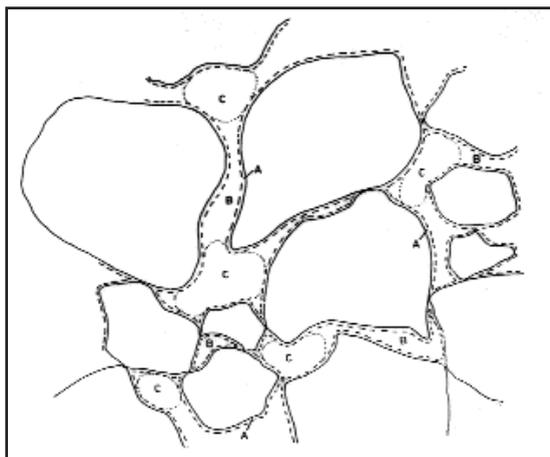


Figura 1: Reconstrucción ideal de la distribución del agua embebida en la red capilar de una determinada materia porosa: A- Agua absorbida, B- Agua capilar, C- Agua libre (sg. Sneyers y Henau)

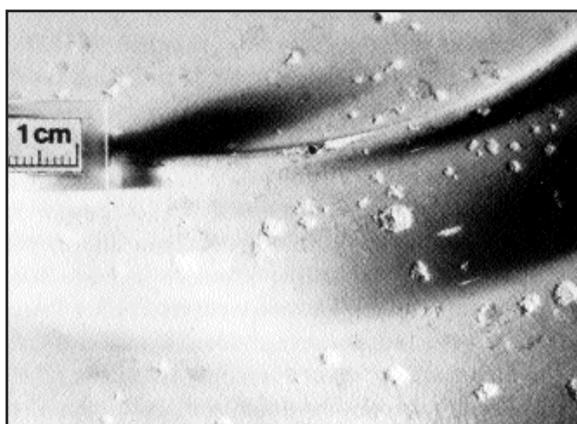


Lámina II: Porcelana extraída del fondo marino, mostrando levantamientos puntuales de la película de vidrio debido a eflorescencias de Cloruro Sódico (sg. C.Pearson)

determinada H.R. Pero cuando surge el efecto contrario y aumenta la H.R. del lugar donde se halla el recipiente, las sales vuelven a hidratarse y a disolverse con ayuda de la humedad ambiente (con aumento de volumen al hidratarse y crear una nueva presión en los poros), tendiendo a evaporarse hacia el exterior del objeto. Una vez sale el agua al exterior, se evapora por completo y la sal permanece en superficie creando las eflorescencias externas, cuya presencia destruye el área contigua al foco. En el caso de tratarse de una cerámica vidriada, la película exterior compacta y en absoluto porosa, acumula las eflorescencias bajo ella, por lo que la presión que ejercen hacen reventar el vidrio (Lámina II).

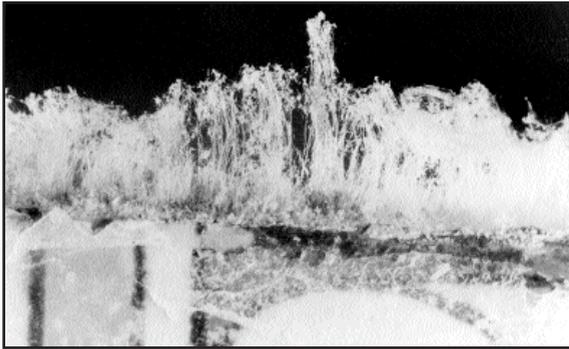


Lámina III: Cristales de Coluro Sódico
(Foto: Leandro de la Vega)

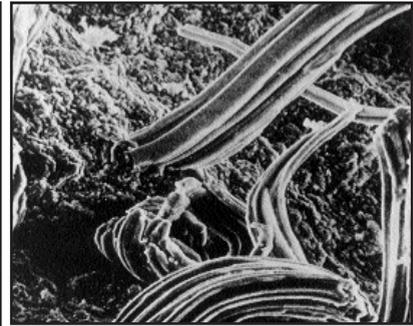


Lámina IV: Imagen SEM de eflorescencias de Cloruro de Potasio
(sg. J. Allen)

Las sales que de forma más común están presentes y detectamos, es decir, las que en su mayoría conocemos y son más solubles en agua, etc., son: Cloruros, Nitratos, Fosfatos, Carbonatos y Sulfatos aunque cada una de éstas presenta una solubilidad diferente.



Lámina V: Fragmento de cerámica prehistórica recogida en superficie, parcialmente cubierta por sulfatos

Los Cloruros (Láminas III y IV) son extremadamente comunes ($\pm 95\%$) tanto en tierra como en el mar (en forma natural la mayoría de las veces), pero pueden haber sido incorporadas de forma artificial por el hombre en un determinado lugar. Este Cloruro de Sodio puede ejercer un máximo de 2.190 Atmósferas (A), presión más que suficiente como para desintegrar cualquier objeto cerámico (KOOB y YEE NG, 2000: 260) (Lámina IV). Los Nitratos, más higroscópicos que los anteriores, raramente aparecen formando eflorescencias; proceden de la descomposición de la materia orgánica, acción de bacterias nitrificantes, la actividad humana o de animales y de abonos nitrogenados (ESTELLER ALBERICH, GIMÉNEZ FORCADA y MORELL EVANGELISTA, 1989: 499 y 504; GEDYE, 1979: 118;

GUITIÁN OJEA *et alii*, 1987: 394-395). Los Fosfatos pueden deberse a los restos de una actividad humana como por ejemplo las cenizas dejadas por hogares, hornos (de fundición o cocción) o presencia de huesos (vertederos, enterramientos, depósitos), etc. Todos los Sulfatos son solubles excepto los de estroncio, bario y plomo; los de calcio y plata son poco solubles. Los Carbonatos son muy lenta y débilmente solubles. Carbonatos y Sulfatos forman también duras costras sobre los objetos arqueológicos -sobre todo los primeros-, y la presencia de los últimos en una proporción del 0'1% ya se considera peligrosa incluso para la piedra.

Pero a veces es curioso constatar cómo se extraen del terreno cerámicas sin apenas sales en su interior. El mismo ecosistema que altera de forma natural los materiales también de forma natural los vuelve a estabilizar. Así vemos cómo en determinadas zonas geográficas con abrupta orografía y extrema climatología se produce un efecto lixiviante, o sea una desalación natural, ya que el agua percola a través de los edafosistemas donde se encuentran enterrados los fragmentos de cerámica, produciendo este efecto. En la Península Ibérica hemos constatado este hecho en la zona norte, climáticamente denominada como España Húmeda (FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, 1988; 1998; FERNÁNDEZ IBÁÑEZ y PÉREZ GONZÁLEZ, 1983-84).

Pero estos fenómenos también se observan dentro de los edificios como pueden ser los almacenes de un determinado museo. A través de nuestra experiencia de años hemos observado repetidas veces que, vasijas almacenadas en lugares inapropiados sin ningún control medioambiental, y en las que no se ha llevado a cabo tratamiento alguno de desalación, en el momento de efectuar éste, las mediciones de conductividad demuestran contener a veces un índice salino mayor que en las que recientemente han sido extraídas de la tierra (FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, 1998: 39; 1990: 157). No hemos tenido la oportunidad ni los medios de llevar a efecto un necesario microanálisis químico. Quizás y entre otros tipos de sales, estas cerámicas puedan contener Calclacita ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{CaCl}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$) según han demostrado Wheeler y Wypyski (1993), que han surgido a partir de los vapores ácidos producidos por los embalajes (FITZHUGH y GETTENS, 1971).

La Humedad Relativa en nuestros museos es más bien variable en función de los continuos cambios en su climatología, ya que el edificio es un "contenedor" cuyo microclima fluctúa en función de la latitud donde geográficamente se ubica el edificio. Necesariamente el "contenido" (cerámico en nuestro caso), se verá afectado por estos cambios. Cuanto mayor sea la fluctuación de la H.R., las distintas sales se disolverán, cristalizarán, recristalizarán... una y otra vez, con el consiguiente viaje desde el interior de la masa cerámica a la superficie, movidas por la evaporación del agua en la que se encuentran disueltas.

Otros tipos salinos de carácter artificial como el anterior y detectados en cerámica antigua ha sido la Carnalita⁴ y la Carnalita de Amonio ($\text{NH}_4\text{MgCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$), así como otros tipos de Magnesio y Potasio presentes en menor proporción. Parecen proceder de los restos de un tratamiento de descarbonatación llevado a cabo con Ácido Clorhídrico, no habiendo sido ade-

cuadramente neutralizados los restos de este producto, o bien haciéndolo mediante Hidróxido de Amonio, siempre que no sean los restos de otro desconocido tratamiento de limpieza (WHEELER y WYPYSKI, 1993).

3. Tests de identificación

Con el fin de confirmar la presencia de un determinado tipo de sal (nunca ser tomado como la cantidad real que el objeto contiene o pueden contener), existen una serie de análisis de sencilla realización, alguno de los cuales es muy conocido.

Para determinar la presencia de *Cloruros* (Cl^-), este método fue hace años publicado por Semczak (1977), resultando eficaz, conocido y extendido (LÓPEZ SOLANAS, 1991: 76 y 131; PETERAKIS, 1987: 71; PEARSON, 1984: 128; SINGH, 1987: 58; TEUTÓNICO, 1988: 63). En un tubo de ensayo (o también en un portaobjetos si se desea visualizar bajo binocular) se toma una muestra del agua desionizada, a ser posible del fondo del recipiente, donde hayan permanecido sumergidos los objetos a testar al menos veinticuatro horas. Se le adiciona unas gotas de Ácido Nítrico $-\text{NO}_3\text{H}-$ previamente disuelto por ejemplo al 10%, y posteriormente otras de Nitrato de Plata $-\text{NO}_3\text{Ag}-$ (previamente diluido al 1%). La formación de un precipitado blanquecino o blanco-azulado de Cloruro de Plata anunciará la presencia de sales cloradas, de intensidad mayor o menor, según la presencia de una mayor o menor cantidad de sales disueltas, que desaparece adicionando Amoníaco⁵ $-\text{NH}_3-$. El contraste del tubo de ensayo con un fondo oscuro (cartulina, pared...) resaltará el test cuando éste demuestre la presencia de escasa salinidad y sea difícil de percibir a simple vista.

Para determinar la presencia de *Nitritos* (NO^2) se ha de proceder a tomar una muestra de agua como anteriormente vimos. Se adiciona unas gotas de Ácido Acético $-\text{CH}_3\text{COOH}-$ diluido al 2%. J. M. Teutónico (1988: 63), adiciona 1-2 gotas del reactivo Griess-Hosvay's. López Solanas (1991: 77) habla de añadir 6 gotas del reactivo Griess-Ilosvay "A"⁶, y seguidamente 6 gotas más del reactivo Griess-Ilosvay "B"⁷. En todos los casos la formación de un color rosa más o menos intenso indicará la presencia de estas sales.

Otro sistema eficaz pero no recomendable debido al peligro de toxicidad y quemaduras que suponen los productos a emplear, es añadir a 1 cm^3 de agua de análisis más 3 cm^3 de Ácido Sulfúrico $-\text{H}_4\text{O}_2-$, enfriando a continuación el tubo mediante agua. Seguidamente se disuelven varios cristales de Brucina. Una coloración amarilla nos asegurará su presencia (LÓPEZ SOLANAS, 1991: 77-78).

Finalmente, estas sales pueden ser detectadas cómodamente mediante varillas indicadoras de determinación rápida semicuantitativa de iones, como las expedidas por la casa comercial Merck bajo la marca MERCKO-QUANT® 1.10020.0001/1.10050.0001. Dichas varillas presentan dos zonas: una de ellas indica la presencia o no tanto de Nitratos como de Nitritos; la opuesta sólo de éstos últimos.

La presencia de *Nitratos* se pueden realizar mediante dos procedimientos.

En primer lugar y utilizando el resultado del test anterior, y si en éste no había rastro alguno de Nitritos, se le añade 1-2 gotas de Ácido Acético y un poco de zinc. El ácido reduce los Nitratos -en caso de existir- a Nitritos, y pone en evidencia a aquellos mediante la coloración rosa de la que hablamos antes.

También puede hacerse el test mediante una nueva muestra de agua, a la que se le añade uno o dos cristales de Ácido Sulfámico $\text{-HSO}_3\text{NH}_2\text{-}$ para destruir los Nitritos en caso de que existiesen y no contaminar el análisis. A continuación se siguen los pasos vistos para la detección de Nitritos (Ác. Acético + reactivo Griess) en las mismas proporciones, además de un poco más de zinc; la coloración rosácea dará positivo el análisis (TEUTÓNICO, 1988: 64).

Otro sistema algo más complicado (LÓPEZ SOLANAS, 1991: 77-78), es introducir 1 cm^3 de agua para su análisis en un tubo de ensayo, al que de forma cuidadosa y con la protección adecuada se le adiciona 1 cm^3 de Ácido Sulfúrico; se enfría el tubo en una corriente de agua. Se añade a continuación 1 cm^3 de un preparado a base de Sulfato de Hierro⁸, dejándolo resbalar por la pared del tubo procurando que ambos líquidos no se mezclen. En caso de que haya Nitratos, en la zona o banda de unión entre ambos líquidos, aparecerá un anillo de color pardo oscuro o pardo rojizo. Pero, como esta reacción también la dan los Nitritos, sólo estaremos completamente seguros si previamente hemos realizado la prueba de Nitratos y ha dado negativo el resultado.

Los *Sulfatos* (SO_4) pueden ser detectados mediante un sencillo test. A una muestra de 4-5 cm^3 agua se le añaden 1-2 gotas de Ácido Clorhídrico -HCl - diluido al 2% y se calienta en un mechero bunsen hasta que empiece a hervir. Se retira y se añaden 1-2 gotas de Cloruro de Bario $\text{-Cl}_2\text{Ba}$ - diluido al 10%. Estaremos en presencia de las sales si se forma un precipitado de color blanco de Sulfato de Bario $\text{-SO}_4\text{Ba}$ - que es insoluble en ácido Clorhídrico diluido (LÓPEZ SOLANAS, 1991: 76-77; TEUTÓNICO, 1988: 63).

4. Disolución de sales solubles

Hasta ahora tres son los sistemas más efectivos que se conocen para la eliminación de las sales solubles (desalación), teniendo todos ellos la particularidad común de llevarla a efecto por medio de su disolución en agua. Estos son los "*Baños Estáticos*", "*Baños Dinámicos*" (sobre los que incidiremos aquí de forma especial), y los "*Emplastos*". Los dos primeros comparten, el que su efecto se lleva a cabo dejando reposar la cerámica por inmersión en agua destilada o desionizada, aunque este aspecto tiene sus matizaciones como veremos.

Serán imprescindibles cambios periódicos del líquido en el primer caso (resulta común el cambio diario), cepillando suavemente continente y contenido, y utilizando una corriente continua en el segundo. Ya que siempre se ha asegurado que el movimiento del agua producía mayores efectos en la disolución de las sales en la cerámica. La rapidez y por lo tanto, la mayor eficacia de estos procedimientos, radica en la diferencia entre la sal contenida y la sal disuelta. Siempre se ha considerado que aumentar la temperatura hasta los $50^\circ\text{-}60^\circ\text{C}$ aumentaría el proceso de desalación, ya que la disolución

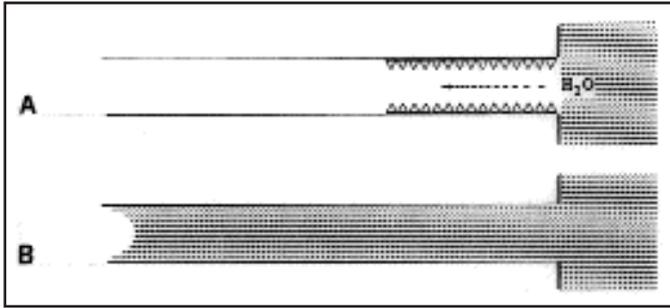


Figura 2: Esquema del proceso de disolución de las sales (desalación) en un Baño Estático; A- Disolución de las sales cristalizadas en los poros, B- Las sales una vez disueltas por el agua del baño (sg. DOMASLOWSKI *et alii*)

duplica con el calor su efectividad cada 10°C, así como la difusión del líquido por el interior de la red capilar al dilatarse los poros. Se ha llegado a asegurar que la disolución también puede efectuarse introduciendo el baño en vacío (THEILE BRUHMS, 1996: 136) al verse forzada la difusión del agua.

4.1. Conocimientos generales

La mecánica de los baños estáticos se basa en la inmersión de las vasijas o los fragmentos en agua, hacia donde emigran las sales en busca de un equilibrio iónico (Figura 1) y donde se efectúa su disolución (Figura 2). Según unos autores, el cambio de agua debe ser de forma periódica y regular, realizándose cada veinticuatro horas, previa comprobación de la cantidad de sales disueltas o simplemente de la presencia de éstas (KOOB y YEE Ng, 2000: 265), bien mediante conductímetro o bien mediante test. Seguidamente las cantidades se reflejarán en una gráfica en la que iremos visualizando esta disolución. Otros, proponen que el cambio de agua se haga después de pasados unos días, cuando la lectura de conductividad se estabilice (UNRUH, 2001: 87). De tal manera que las sales vayan migrando, hasta llegar a un equilibrio entre las que se han disuelto y aquellas que aún están retenidas en la cerámica.

Antes de volver a una nueva sesión se deberán cepillar suavemente continente y contenido para hacer

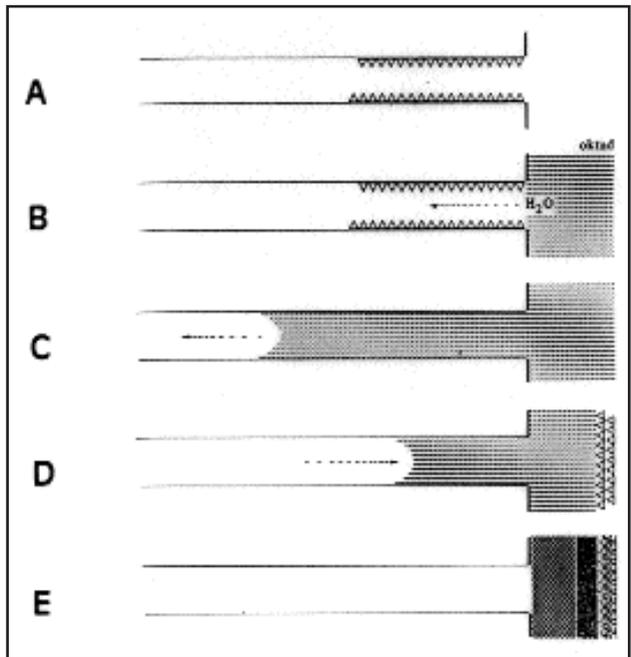


Figura 3: Esquema de la desalación forzada llevada a cabo mediante apósitos; A- Cristales de sal adheridos a las paredes de un poro, B- El agua del emplasto (compresa) entra en el poro, C- Disolución de las sales; D- Salida y recrystalización en la parte posterior del apósito; E- Poro libre de cristales salinos (sg. DOMASLOWSKI *et alii*)

desprender las sales que han quedado en superficie. La mayor parte (cifrado hasta en un 90%) quedan disueltas en los primeros días -al igual de lo que ocurre en el hierro- (BERTIN y LOEPER, 1999), por lo cual si los cambios son muy frecuentes el tiempo necesario se ve acortado de forma apreciable (BARDEN, 1996). Descomponiendo porcentualmente este efecto se ha comprobado que, tras las primeras veinticuatro horas, quedan disueltas el 50% o más de las sales contenidas en la cerámica, entre el 20-25% a las cuarenta y ocho horas, y el 80-90% restante tras el cuarto día. Una vez han pasado doce días se pueden dar a los objetos por desalados (UNRUH, 2001: 86).

De una forma racional MacLeod y Davies (1996:404) realizan los cambios del baño desalador sólo después de que tras ir representando los valores tomados diariamente en una gráfica, ésta, tras ir ascendiendo oblicuamente se comienza a estabilizar en forma de línea horizontal y en lo que se entiende como “meseta”. Representando valores muy semejantes que indican el grado de saturación del baño.

Los llamados *Baños Dinámicos* o desalación forzada se basan en la creación de una corriente artificial de agua, ya que como el calor, el movimiento también hace aumentar la solubilidad (Figura 4).

Los Emplastos son masas pastosas muy eficaces en la desalación de aquellos objetos porosos que no pueden ser sumergidos, o bien eliminar en ellos un determinado foco salino, etc. Se emplean con excelentes resultados para desalar tanto piedra, pintura mural como cerámica (DOMASLOWSKI *et alii*, 1982: 82-86; FRANCO *et alii*, 2002; HODGES, 1993: 153) forzando la salida de las sales al exterior a través de la red capilar. Se basan en saturar con agua desionizada una materia higroscópica neutra como es la pulpa de celulosa (Arbocel o Sepiolita -Hidrosilicato de Magnesio-), hasta conseguir una masa tixotrópica. Se superpone sobre la superficie a desalar, interponiendo previamente un material poroso tal como papel japonés o melinex confeccionando de esta manera un apósito, de tal manera que se produce un intercambio de iones. Se cubre todo el conjunto con una materia -como el plástico- que evite la evaporación. Las sales serán arrastradas del interior de la materia a la superficie (Figura 3). El proceso puede repetirse cuantas veces sea necesario y ser aplicado sobre grandes superficies.

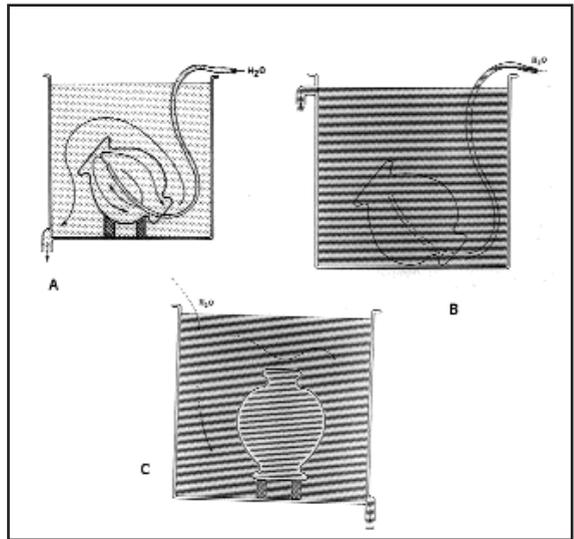


Figura 4: Desalación correcta (A y B) de un recipiente cerámico mediante un Baño Dinámico, y disposición incorrecta (C) (sg. DOMASLOWSKI *et alii* y BERDUCOU)

Podríamos considerar que lo hasta ahora apuntado tiene más que ver con la cerámica extraída de la tierra que con la extraída del fondo del mar. Aquí el problema es mucho más complejo ya no solamente por la cantidad, sino además por la necesidad de ser desalada toda ella, debido a los altos índices de salinidad que su pasta presenta, y la gran cantidad de tiempo que es necesario invertir en el tratamiento. Como paso previo Pearson recomienda (1984: 112) que los fragmentos permanezcan sumergidos en agua marina, y ésta se ira sustituyendo paulatinamente por agua del grifo primero y desionizada después. Si lo hacemos directamente de la primera a la tercera la presión osmótica, puede afectar a engobes y vidriados.

Cuando ha sido necesario desalar estas grandes cantidades de cerámica, ha resultado muy práctica la utilización de contenedores calados de polietileno, que a su vez contienen redes también plásticas convenientemente etiquetadas que separan hallazgos aislados o individuales o bien, grupos diferentes. A través de sus orificios, el agua puede libremente circular y alcanzar cada fragmento. Se han llegado a utilizar con éxito, mediante un riguroso registro, grandes contenedores de hasta 500 litros, que a su vez almacenaban ocho contenedores de menor tamaño, repletos de cerámica retenida en las redes antes mencionadas (MARÍN BAÑO y ZAMBRANO, 1995: 195-198).

Los profesionales siempre hemos dado por hecho que, utilizando mayor volumen de agua por cm³ de cerámica (en concreto veinte veces el volumen del objeto), la desalación resultaba más rápida y eficaz. A este respecto las experiencias Unruh (2001: 87-88) dictan que la relación 1:15 (objeto:agua) es la que parece disolver mayor número de sales, no que el proceso resulte más rápido. Asimismo no es necesario el cambio diario del líquido, aunque no recomienda retrasarlo demasiados días debido al crecimiento biológico inevitable.

Al contrario de lo que hemos visto, otros autores aseguran, después de diversos ensayos de desalación que ni el cambio de agua, ni el movimiento, ni el calor son eficaces (HODGES, 1993: 152-153). Propone -sin precisar modo ni forma-, que un mayor volumen de sales disueltas en menor tiempo, se consigue mediante un sistema de baño ultrasónico a 60°C, cuya carestía económica y complejidad técnica asegura.

4.2. Actuaciones, modelos y comportamientos físico-químicos en la desalación

Desde antiguo se conocen toda una serie de métodos para llevar a cabo las desalaciones, en función de los comportamientos químicos de las sales. Unos continúan demostrando su eficacia, siendo posible ser mejorados según recientes experiencias. Otras veces, aplicando tratamientos casi de forma mecánica según unos comportamientos que son hoy casi axiomas, se ha demostrado ser equívocos o de eficacia escasa o nula. Son ejemplos de esto que venimos diciendo el calor o la agitación, que a continuación trataremos.

La agitación o movimiento del agua de forma continua (*Baño Dinámico*) a través o en el interior del recipiente donde se encuentra la cerámica, también llamado "Método Craft", ha dado buenos resultados en cuanto a la velocidad de disolución de sales. Si bien su prolongada utilización ha favorecido

en algunos casos la disgregación de la masa cerámica y no ha sido confirmada la eficacia antedicha (COSTA PESSOA *et alii*, 1996: 17). Nosotros durante años hemos experimentado cómodamente este sistema, utilizando un sifón de revelado fotográfico, que es un sencillo mecanismo de regeneración de agua, empleado por los profesionales durante el último lavado de las copias fotográficas en papel.

Como aportación a este modelo para la eliminación de sales por agitación, describiremos el equipo que, de forma más reciente, ha sido diseñado y publicado (KOOB y YEE NG, 2000). Supone la circulación constante del agua de desalación a partir de un gran recipiente o tanque de desalación, y en cuyo interior se encuentran sumergidas las cerámicas ya sean recipiente/es o fragmentos. Éste queda unido a dos columnas de resinas cambiadoras de iones. Quedan unidas éstas a la vez, a una bomba eléctrica de recirculación que realiza el movimiento del agua. Se cierra el circuito por medio de un tubo que une el baño con la citada bomba. El sentido de la circulación es el que hemos descrito. Los autores hacen transportable todo este conjunto instalándolo sobre un carro metálico.

Es aconsejable que si el número de fragmentos cerámicos a desalar es elevado, éstos se dispongan extendidos en bandejas a diferentes alturas dentro del recipiente. El agua forzada se hará circular desde el fondo hacia arriba. Así mismo tendremos en cuenta que, para recipientes más o menos completos, la entrada de agua se realizará por medio de un tubo flexible alojado en el interior y con la cerámica recostada sobre el galbo (Figura 2).

Con respecto a los *Baños Estáticos* desde hace años se conoce el denominado “Método Olson” (SNEYERS y HENAU, 1979: 241) (Figura 5). Se basa en la aplicación de calor hasta los 60° C (DELCROIX y TORTEI, 1973: 194; SNEYERS y HENAU, 1979: 236) ya que como dijimos éste incrementa la solubilidad; incluso alternado estos baños frío-calor. El aumento de la temperatura aparte de dilatar los poros de la materia en cuestión (piedra o cerámica) hace disminuir la tensión superficial⁹, con lo cual el agua del baño puede penetrar más en profundidad. Dicha dilatación puede ser perniciosa para la conservación de ciertas pastas disgregadas o disgregables.

Para eliminar el Sulfato Sódico, Madroñero de la Cal (1988: 69-70) propone un tratamiento del tipo que venimos comentando aunque de forma más intensa,

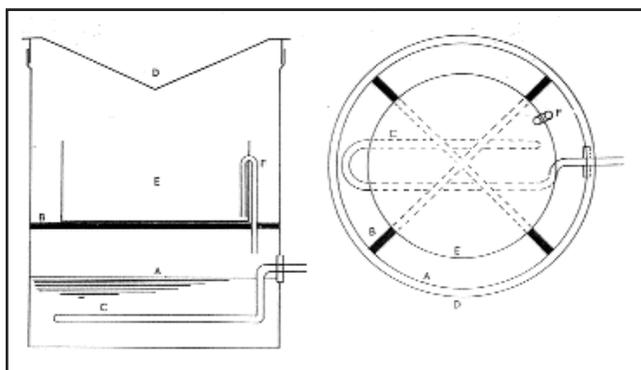


Figura 5: Un modelo basado en el sistema “Olson” para la desalación mediante calor; A- Depósito cilíndrico, B- Plataforma de tela metálica, C- Calentador eléctrico de inmersión, D- Cubeta cónica de cobre, E- Depósito para el objeto sometido a tratamiento, F- Sifón desde E hasta A (sg. Sneyers y Henau)

de tal manera que se trataría más bien de un recocido a baja temperatura. El fin es alcanzar en varios días los 125°C de la siguiente manera: durante los diez primeros, llegar a los 100°C y así mantenerlos diez días más. Progresivamente y hasta el treinta y seis alcanzar los 125°C manteniéndolo así quince. A partir de esta fecha se irá descendiendo hasta los 0°C en los cinco días siguientes. El aumento de la temperatura creará la reacción del Sulfato Sódico hidrolizado en Sulfato Sódico + H₂O, que se evaporará en la red capilar. El propio autor lo cree poco factible por el tiempo y la carestía del tratamiento.

Esto último nos hace pensar en el posible perjuicio para las cerámicas en cuanto al exceso de su permanencia en el agua. Al quedar empapados por completo los fragmentos cerámicos, producto de la desalación o bien los lavados, puede llegar a producirse un debilitamiento estructural por dilatación o el lixiviado (disolución) de determinados componentes (BERDU-COU, 1987: 24; DOMASLOWSKI *et alii*, 1982: 86; KOOB y YEE NG, 2000: 271). De esta manera ha sido confirmada la presencia de óxidos de hierro en el baño utilizado en determinadas cerámicas andinas del Museo de Arte de Brooklyn (UNRUH, 2001: 81).

Y finalmente, otro de los efectos observado en el agua de la desalación tras la permanencia de varios días sin ser cambiada, es la proliferación de microorganismos. Leves películas se transforman al cabo del tiempo en concentraciones de tacto viscoso, oscureciendo su color posteriormente. Debemos cambiar de inmediato el baño y cepillar los objetos, si bien por precaución y antes de continuar con el tratamiento deberían permanecer sumergidos en un baño previo de agua con unas gotas de funguicida como Borax o Timol, con el fin de eliminar la posible infección bacteriana. Asimismo se ha propuesto el uso de Amonio Cuaternario (SNEYERS Y HENAU, 1979: 235). En nuestro caso el agua de mar es particularmente propensa a este fenómeno, debido a la cantidad de microorganismos de que está formada.

4.3. La conductividad. Su medida y el valor límite o punto final

El control sobre las sales que se van disolviendo es algo fundamental, basándose en la relación directa que existe entre la salinidad del agua utilizada en el proceso y su conductividad. Este control se podría definir como la capacidad de conducir la corriente eléctrica, en función de las sales (que actúan como electrolito) que en ella se encuentran disueltas. Será necesaria una temperatura de referencia, pues la conductividad depende de ella¹⁰. De esta manera sabremos cuando podemos dar por finalizada esta fase. La conductividad será medida por conductímetros cuya sonda proporciona un guarismo en función de los mg/l de sal presentes; cantidad que se expresa en Microsiemens (Ms/cm-1). La cifra de la conductividad será más fidedigna, si el recipiente donde realizamos la desalación se encuentra cerrado, ya que de otra manera los contaminantes atmosféricos e inclusive el polvo, todo ello en suspensión, pueden llegar a disolverse en el agua del tratamiento y alterar nuestra medición. Las medidas serán tomadas siempre en el fondo de los recipientes utilizados para la desalación, ya que las sales tienden a depositarse en el fondo.

Las diferentes mediciones que nos vaya monitorizando el conductivímetro, las iremos reflejando en una gráfica para ir obteniendo una representativa curva. En las ordenadas se colocarán los valores que se correspondan con la raíz cuadrada del tiempo en horas o días. Mientras que en las abscisas la conductividad obtenida en Ms/cm^{-1} .

Con el fin de normalizar las medidas de conductividad, Unruh (2001: 82-83) ha desarrollado una sencilla y particularmente útil fórmula, que pone en relación volúmenes conocidos de cerámica a desalar y el agua de su baño:

$$K (L) / \text{gm} = K_{\text{adj}}$$

Donde “K” es la medida de conductividad del baño que nos indica en un determinado momento el aparato de medición. “L” es el volumen -en litros- del agua utilizada en el baño, y “gm” el peso -en gramos- del objeto u objetos (recipientes o fragmentos) que se desalan. La abreviatura “adj” responde al concepto de “Conductividad Ajustada”, y es el guarismo o cantidad que se obtiene de operar los anteriores valores.

A la vez, y para poder conocer la correspondencia entre el volumen de agua del baño (ml) que le corresponde por unidad de gramo (g) de la cerámica desalada, nuevamente desarrolló una nueva fórmula

$$\text{ml} / \text{g} = \text{ml} / \text{gr}$$

Así por ejemplo, a 1200 gr (g) de cerámica a desalar en 5000 ml de agua, le corresponden 4,16 ml de agua por cada gramo (gr) de cerámica. De esta manera se obtiene un valor que permite comparar diferentes tratamientos entre sí, llevados a cabo en un mismo yacimiento, o bien en diferentes y poder llegar a establecer en cada yacimiento, región, etc., el volumen de agua mínimamente necesario para desalar con éxito y rapidez la cerámica. Su utilidad en emplazamientos excavados en países donde el agua escasea (BOURGEOIS, 1987; UNRUH, 2001), ha resultado singularmente útil.

MacLeod y Davies (1996:407) con el fin de normalizar valores, realizan un cálculo aproximado de la cantidad de sales respecto al volumen de los objetos motivo de la desalación, aplicando la fórmula:

$$R_N = R_{\text{ppm}} \cdot X/Y$$

Donde “X” es el volumen del agua de lavado expresada en litros, mientras “Y” representa el área de superficie geométrica del objeto expresada en centímetros cuadrados. Por lo que “R” supone tanto la cantidad de cloruros medida en el baño expresada en partículas por millón (ppm), como el resultado final.

No en demasiadas ocasiones se ha incidido en relación al tema que nos compete, en algo tan importante como es el saber de qué manera y cuándo nuestras cerámicas se encuentran desaladas, estabilizadas y por lo tanto dar por finalizado el tratamiento. Más en concreto lo que Berducou (1990: 98) ha denominado *Valor Límite* y Unruh (2001: 83-90) *Punto Final*, y considerando además este último autor, que deberá ser un valor numérico que sea posible de extrapolar a partir de las mediciones. En el momento actual de nuestros conocimientos es difícil ofrecer de forma categórica una cantidad exacta y su porqué.

En buena lógica, este crítico momento podría haber llegado cuando exista escasa diferencia entre los reducidos valores obtenidos por el conductímetro en cada medición, y también que su reflejo en la gráfica nos ofrezca una línea baja y paralela al eje de abscisas. Otros autores han establecido niveles de conductividad entre los 75-100 Ms/cm-1 (PETERAKIS, 1987: 72) ó 150 Ms/cm-1 (OLIVE y PEARSON, 1975), a partir de los cuales la cerámica no presenta problemas.

5. Desconcrecionado-disolución de sales insolubles

La denominación de insolubles hace referencia a un conjunto de concreciones formadas por precipitación química sobre los objetos, cuya dureza es mayor que el propio material cerámico -aunque en modo alguno de forma exclusiva- al que recubren, y al que fuertemente se adhieren debido a su conocida porosidad. Estas concreciones pueden presentarse sobre tales objetos de forma parcial, o bien cubrirlos por completo hasta -habiendo amalgamado todo lo que hubiese alrededor-, hacerlos irreconocibles. Son insolubles al agua y de ahí su denominación, aunque esta característica no es del todo cierta, ya que si se produce un persistente y continuo paso del poder de este elemento, raro es que con el tiempo no termine descomponiendo las costras que a ella se encuentran expuestas. Pueden formarse inclusive en el interior de la pasta en forma de calcita secundaria (calcita micrítica), como producto de alteración a partir de una disociación de la calcita original presente en la arcilla (BUXEDA I GARRIGÓS y CAU ONTIVEROS, 1995).

Tales adherencias suelen ser normalmente de dos tipos: Sulfatos y Carbonatos de Calcio. Reconoceremos a estos últimos si, tomando una muestra y atacándola con una gota de ácido, ésta se disuelve en efervescencia con desprendimiento de CO_2 . A los Sulfatos, si una vez atacada con ácido una muestra, ésta efervesce levemente, probaremos seguidamente con Cloruro de Bario al 1%. Si efectivamente son Sulfatos se producirá un precipitado de color blanco (BUYS y OAKLEY, 1998: 90).



Lámina VI: El mismo fragmento de la lámina V, una vez fue desconcrecionado mediante tratamiento térmico

Su eliminación se puede acometer de forma química o mecánica. Esta última no siempre resulta ni la más eficaz y la más conveniente, aunque a su favor se encuentra el hecho de que no ponemos en contacto la cerámica con elemento químico alguno. Se lleva a cabo por medio de agujas, bisturís, punzones.... para efectuar picados estáticos, o bien abrasión mediante micro-tornos o microabrasímetros. Pero al ser estas concreciones más duras que la propia cerámica y permanecer extremadamente adheridas, corremos el riesgo de alterarla

seriamente. De tal manera que la solución que en muchos casos suele adoptarse, es conjugar en un término medio la inocuidad de la limpieza de tipo mecánico, una vez la efectividad de los tratamientos químicos han logrado desprenderlas.

Los tratamientos químicos son variados. Deberemos siempre poner especial cuidado en su aplicación como interés en la dosificación justa si optamos por esta solución. Las cantidades nunca serán en exceso, trataremos la cerámica habiéndola saturado previamente con agua, y procuraremos la total eliminación y neutralización de los productos químicos empleados; los ácidos con los básicos y viceversa, agua... No deberá quedar resto alguno en la red de poros, de tal manera que no pueda llegar a desencadenar efectos secundarios a lo cual el vacío puede sernos de utilidad. Si efectuamos la extracción de sales solubles después de la desconcreción, realizaremos una doble función como es una profunda neutralización de los productos, y la desalación propiamente dicha. A continuación pasaremos revista a los cinco tratamientos más eficazmente empleados, siendo químicos buena parte de ellos.

Los productos complejantes o complexonas (también denominados como agentes secuestrantes)¹¹ son derivados del ácido Etilen Diamonio Tretacético, y han supuesto siempre una excelente alternativa a la utilización del ácido sobre concreciones de carbonato cálcico. Soluciones de EDTA tetrásódica al 5% (JOVER ARMENGOL, 1989: 48) ó 10% (ZAMBRANO VALDIVIA *et alii*, 1992: 34) han dado buenos resultados sobre concreciones en cerámica extraída del mar. Hasta el punto que se ha recomendado su utilización sobre cerámica vidriada de procedencia subacuática antes que cualquier ácido, ya que pese a ser un tratamiento químico-básico mucho más lento, indudablemente se controla mejor (PEARSON, 1984: 111-112; 1987:254). El único cuidado que deberemos tener es la posible lixiviación de elementos metálicos que componen la masa cerámica (BERDUCOU, 1990: 101-102; FERNÁNDEZ IBÁÑEZ y SEVA ROMÁN, 2003). Como alternativa se propone el Hexametáfosfato de Sodio o la sal de Amonio Cuaternario (JOVER, 1998: 31); ambos en una concentración al 10%. Otros agentes secuestrantes utilizados en el tratamiento de la cerámica son el Fosfato Trisódico y el Citrato Sódico (BUYS y OAKLEY, 1998: 90-91).

M. Berducou (1990: 101) para la desconcreción del Carbonato Cálcico, habla de sumergir los objetos durante media hora aproximadamente en una disolución al 10% de Hidrosulfito de sodio. Finaliza el tratamiento con un baño neutralizador en caliente de ácido Etilen Diamino Pentacético (DIPA) durante bastantes horas (de Ph específico según lo que deseemos disolver: hierro, calcio...), seguido de cepillados.

Nosotros hemos obtenido buenos resultados sometiendo durante varias horas los fragmentos de cerámica recubiertos de Carbonatos y Sulfatos (Láminas V y VI), a una temperatura de entre 120°-150° C, en estufa tanto de aireación natural como forzada. Se ha de alcanzar dicho máximo y enfriar de forma paulatina, con el fin de evitar alteraciones resultado de las tensiones que pudieran producirse por los choques térmicos. El calor se ha utiliza-

do inclusive llevándolo hasta el objeto de cerámica donde se encontraba la concreción, mediante una espátula térmica (MARSAL MOYANO *et alii*, 1988: 8).

Los tratamientos desarrollados para disolver otro tipo de sales como son por ejemplo las de Sulfato de Calcio, claramente han sido de menor interés entre los especialistas y éstos apenas han dejado algo de literatura sobre ellas. Así, y al sistema mediante calor que vimos en el apartado anterior y que también es eficaz en este caso, se ha empleado con éxito el Carbonato de Amonio en caliente; sin especificar concentración alguna (SINGH, 1987: 58). Finalmente se ha citado el uso de ácidos tradicionales como son Nítrico y Clorhídrico (BUYS y OAKLEY, 1998: 89; GEYDE, 1979: 119).

Precisamente el empleo de los ácidos a diferentes concentraciones son los métodos y productos más tradicionales para la disolución de sales insolubles, principalmente de tipo cálcico. En los primeros trabajos de conservación hacia mediados de los años cincuenta del pasado siglo XX y aún en años posteriores, el Ácido Clorhídrico diluido fue el más empleado (PLENDERLEITH, 1967: 376-377). Junto con el Nítrico se ha venido recomendando prácticamente hasta nuestros días (BUYS y OAKLEY, 1998: 89; GEYDE, 1979: 118). Aunque ya vimos anteriormente como su defectuosa neutralización produjo efectos secundarios. Si bien, hoy éstos se encuentran prácticamente descartados y los profesionales se decantan por cualquier otro debido a las sales que aportan, o bien reducen su uso al mínimo imprescindible. Otros ácidos empleados en conservación son el Cítrico y el Acético. Como los anteriores, siempre se aplican muy rebajados y en contadas ocasiones por inmersión (gruesas y/o duras costras, etc.), con los objetos previamente saturados de agua, sin largas exposiciones...

Los argumentos que se han esgrimido en contra de la utilización de productos ácidos hablan de la disolución de los elementos de hierro, que en forma de Óxidos e Hidróxidos (Lepidocrocita o Magnetita) forman parte de la composición de la cerámica arqueológica y/o de los engobes que la recubren; lo que no ocurre en la porcelana (PEARSON, 1987: 254). Este efecto puede llegar a producir cambios de coloración al oxidarse componentes resultando un color amarillento. Y también otros productos de tipo carbonato tales como desgrasantes o calcita primaria y secundaria, que forman parte de la composición en las cerámicas carbonatadas tales como la *terra sigillata* romana.

Desde hace años sabemos de un tratamiento que nos proporcionó nuestro maestro Raúl Amitrano Bruno, y que él mismo nos anunció que no solía dar buenos resultados; mas pese a todo lo exponemos aquí, como referencia. Consiste en depositar el objeto a limpiar dentro de una campana de vidrio, junto al cual se coloca un recipiente conteniendo un fragmento de mármol, y otro recipiente con agua para crear un ambiente saturado de humedad. Antes de aislar el conjunto se ataca el mármol con ácido. El desprendimiento de CO_2 transformará el carbonato en un bicarbonato soluble. Se acelera el proceso haciendo incidir desde el exterior un haz de luz infrarroja sobre la zona puntual que deseamos disolver, o eliminarlo con más intensidad, etc.

Finalmente comentar el uso de la Papeta AB-57. Se trata de una papilla espesa y tixotrópica (sol). Es un producto inventado en Italia hace ya años para eliminar el carbonato cálcico de la pintura mural, y ampliamente conocido y empleado. Está compuesto por agua (1000 cc.), Bicarbonato de Amonio (30 g.), Bicarbonato de Sodio (50 g.), Desogén¹² (25 g.) y Carboximetilcelulosa (6 g.) (MORA, MORA y PHILIPPOT, 1977: 400-401), aunque hoy es posible de adquirir ya preparado. Indudablemente es un tratamiento controlable aunque muy lento y poco agresivo. Por lo tanto poco o nada adecuado para la eliminación de gruesas costras como las formadas en cuevas o bajo el mar. En cambio, puede ser aplicada sobre finos velos de carbonato, cuando la masa subyacente a la incrustación pueda soportar su acción. Puede ser extendida con pincel directamente aplicando capas de espesor uniforme o aún mejor, interponiendo una lámina de papel japonés. Esta papilla también ha sido empleada con éxito para eliminar antiguos depósitos de sulfato sobre la superficie cerámica, pero sin la adición en ella de la sal de EDTA (BAROV, 1988: 166).

Utilizadas recientemente para la eliminación de carbonatos, son las resinas de intercambio iónico catiónico. Tenemos noticias de que son bastante efectivas sobre las costras cerámicas, e inclusive sobre los velos blanquecinos que cubren lienzos de pintura mural (Osca Pons, *J et alii.*, 2003:48). El producto es conocido como “Amberlite IR 120H” cuyo fabricante es la prestigiosa firma americana Rohm & Hass.

Agradecimientos

Deseamos agradecer a nuestros amigos y compañeros de profesión Fernando Carrera Ramírez de la Escola Superior de Conservación e Restauración de Bens Culturais de Galicia, y a José M^a Alonso García de la Facultad de Bellas Artes de Granada, sus valiosos comentarios, que han servido indudablemente para enriquecer la redacción final de este artículo.

Bibliografía

- BARDEN, R. (1996): “The análisis and reconstruction of islamic glass-ait ceramics, and comparative methods of desalination”, *Objets Specialty Vol.III*, Washington, 64-69.
- BAROV, Z. (1988): “The reconstruction of a greek vase: the Kyknos cráter”, *Studies in Conservation* 33(4), Londres, 165-177.
- BERDUCOU, M. (1987): “La céramique et le verre”, *Conservation des Sites et du Mobilier Archéologiques. Principes et Méthodes*, UNESCO, Paris, 22-33.
- BERDUCOU, M. (1990): “La céramique archéologique”, *La Conservation en Archéologie* (M.Berduco ed.), Paris, 78-119.
- BERTHOLON, R. y RELIER, C. (1990): “Les métaux archéologiques”, *La Conservation en Archéologie* (M.C.Berduco ed.), Masson, Paris, 163-221.
- BERTIN, F. y LOPER-ATTIA, M.A. (1999): “Réflexions autour de l’optimisation du traitement par le sulfite alcalin”, *A la Recherche du Metal*

- Perdu*, Editions Errance, Paris, 113.
- BOURGEOIS, B. (1987): *La conservation des céramiques archéologiques. Étude comparée de trois sites chypriotes, Collection de la Mison de l'Orient Méditerranéen 18, Série Archéologique 10*, Paris.
- BUXEDA I GARRIGÓS, J. y CAU ONTIVEROS, M. A. (1995): "Identificación y significado de la calcita secundaria en cerámicas arqueológicas", *Complutum 6*, Madrid, 293-309.
- BUYS, S. y OAKLEY, V. (1998): *Conservation and restoration of ceramics*, Butterworth Heinemann, London (3ª edición).
- COSTA PESSOA, J., FARINHA ANTUNES, J. L., FIGUEIREDO, M. O. y FORTES, M. A. (1996): "Removal and analysis of soluble salts from ancient tiles", *Studies in Conservation 41*(3), London, 153-160.
- DELCROIX, G. y TORTEL, C. (1973): *Contribution a l'elaboration d'une methodologie de la sauvegarde des Biens Culturels*, Paris.
- DOMASLOWSKI, W. et alii. (1982): *La conservation préventive de la pierre, Musées et Monuments XVIII*, UNESCO, Paris.
- ESBERT, R. M^a., ORDAZ, J., ALONSO, F. J. y MONTOTO, M. (1997): *Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos*, Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Barcelona, Barcelona.
- ESTELLER ALBERICH, M^a. V., GIMÉNEZ FORCADA, E. y MORELL EVANGELISTA, I. (1989): "Los nitratos en las aguas subterráneas de la Plana de Castellón", *Boletín de la Sociedad Castellonense de Cultura LXVII (III)*, Castellón, 499-512.
- FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. (1988): "Primeros datos acerca de los problemas de conservación planteados por la T.S.H. de Juliobriga (Cantabria). Causas y efectos", *Pátina 2*, Madrid, 38-40.
- FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. (1990): "Conservación y restauración de cerámica campaniforme. Trabajos desarrollados en uno de los recipientes del monumento megalítico de As Pontes (A Coruña)", *Gallaecia XII*, A Coruña, 153-169.
- FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. (1998): "Algunas observacións sobre conservación e restauración de cerámica arqueológica en Galicia", *Labris 1*, Pontevedra, 38-46.
- FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. y PÉREZ GONZÁLEZ, C. (1983-1984): "Juliobriga. Notas para la conservación de la *Terra Sigillata Hispánica*", *Altamira XLIV*, Santander, 79-86.
- FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. y SEVA ROMÁN, C. (2003): "Avance al análisis de un modelo de limpieza a base de álcalis para la cerámica arqueológica", *Sautuola IX*, Madrid.
- FITZHUGH, E. W. y GETTENS, R. J. (1971): "Calclacite and other efflorescent salts on objects -stored in wooden museum cases", *Science and Archaeology* (R.H.Brill ed.), Cambridge.
- FRANCO, B., GISBERT, J., NAVARRO, P. y MATEOS, I. (2002): "Deterio-

- ro de los materiales pétreos por sales: cinética del proceso, cartografía y métodos de extracción”, *Conservación del Patrimonio: Evolución y Nuevas Perspectivas. Actas del Ier Congreso del GEIIC*, Valencia, 287-293.
- GEDYE, I. (1979): “Cerámica y vidrio”, *La Conservación de los Bienes Culturales, Museos y Monumentos XI*, UNESCO, Paris (2ª edición), 117-122.
- GUINEA LÓPEZ, E. (1953): *Geografía botánica de Santander*, Diputación Provincial, Santander.
- HODGES, H. W. M. (1993): “Tratamiento de conservación de la cerámica en el campo”, *Conservación Arqueológica In Situ* (H.W.M. HODGES y M.A. CORZO eds.), México, 152-157.
- JACKSON, A. y DAY, D. (1986): *Manual para la restauración de antigüedades*, Editorial Raíces, Madrid.
- JEDRZEJEWSKA, H. (1970): “Renoval of soluble salts from stone”, *Conservation of Stone and Wooden Objects*, New York, 19-33.
- JOVER I ARMENGOL, A. (1989): “Conservació i restauració dels objectes arqueològics”, *Excavacions Arqueològiques a Cala Culip – I*, Girona, 45-55.
- JOVER, A. (1998): “La conservació y restauració del material arqueològic”, *Excavacions Arqueològiques Subacuàtiques a Cala Culip 2* (X. NIETO y X. RAURICH eds.), Girona, 30-31.
- KOOB, P. y YEE NG, W. (2000): “The desalination of ceramics using a semi-automated continuous washing station”, *Studies in Conservation* 45 (4), London, 265-373.
- LÓPEZ SOLANAS, V. (1991): *Técnicas de laboratorio*, Edunsa. Ediciones y Distribuciones Universitarias, S.A., Barcelona.
- MACLEOD, I. D. y DAVIES, J. A. (1996): “Desalination of glass, stone and ceramics recovered from shipwreck sites”, *Marine Archaeology. The Global perspectives* Vol. II, Delhi, 401-409.
- MADROÑERO DE LA CAL, A. (1988): “Dos ejemplos de solución de problemas de conservación en piezas cerámicas del Museo Provincial de Murcia”, *Boletín ANABAD XXXVIII* (3), Madrid, 63-74.
- MARÍN BAÑO, C. y ZAMBRANO, L. C. (1995): “Conservación preventiva. Actuaciones desarrolladas en el proyecto arqueológico “Nave Fenicia” de Mazarrón”, *Cuadernos de Arqueología Marítima* 3, Cartagena, 187-199.
- MARSAL MOYANO, M. *et alii* (1988): “Restauración de terracotas púnicas”, *Pátina* 3, Madrid, 3-8.
- MORA, P., MORA, L. y PHILIPPOT, P. (1977): *La conservation des peintures murales*, Bologna.
- OLIVE, J. y PEARSON, C. (1975): “The conservation of ceramics from marine archaeological sources”, *Conservation Archaeology and the Applied Arts*, London, 199-204.
- OSCA PONS, J. *et alii* (2003): “Restauración de la decoración pictórica exterior de la iglesia de San Roque en Oliva”, *R & R* 75, Madrid, 46-51.
- PEARSON, C. (1984): “La conservation du patrimoine subaquatique”, *La*

- sauvegarde du Patrimoine Subaquatique, Cahiers Techniques: Musées et Monuments 4*, UNESCO, Paris, 79-136.
- PEARSON, C. (1987): "Conservation of ceramics, glass and stone", *Conservation of Marine Archaeological Objects*, Oxford, 253-267.
- PETERAKIS, A. B. (1987): "The deterioration of ceramics by soluble salts and methods for monitoring their removal", *Recent Advances in the Conservation and Analysis of Artifacts*, London, 67-72.
- PICON, M. (1976): "Remarques preliminaries sur deux types d'alteration de la composition chimique des ceramiques au cours du temps", *Figlina 1*, Lion, 159-166.
- PLENDERLEITH, H. J. (1967): *La conservación de antigüedades y obras de arte*, Madrid.
- SEMCZAK, C. M. (1977): "A composition of chloride test", *Studies in Conservation* 22(1), London, 40-41.
- SINGH, A. P. (1987): *Conservation and museum techniques*, Agam Kala Prakasham, Delhi.
- SNEYERS, R. V. y HENAU, P. J. de (1979): "La conservación de la piedra", *La Conservación de los Bienes Culturales, Museos y Monumentos XI*, UNESCO, Paris (2ª edición), 223-250.
- TEUTÓNICO, J. M. (1988): *A laboratory manual for architectural conservators*, ICCROM, Roma.
- THEILE BRUHMS, J. M. (1996): *El libro de la restauración*, Alianza Editorial, Madrid.
- UNRUH, J. (2001): "A revised endpoint for ceramics desalination at the archaeological site of Gordion, Turkey", *Studies in Conservation* 46(2), London, 81-92.
- WHEELER, G. S. y WYPYSKI, M. T. (1993): "An unusual efflorescence on greek ceramics", *Studies in Conservation* 38(1), London 55-62.
- ZAMBRANO VALDIVIA, L. C. *et alii* (1992): "La conservación de los materiales silíceos procedentes de la I campaña de la Carta Arqueológica Subacuática del litoral de Murcia", *IIªs Jornadas de Arqueología Subacuática en Asturias*, Oviedo, 29-35.

Notas

¹ Si bien el agua de mar es una gran y variada composición salina, cuyos principales elementos se encuentran presentes en las siguientes proporciones: Cloruro de Sodio 77'8%, Cloruro de Magnesio 10'9%, Sulfato de Magnesio 4'7%, Sulfato de Calcio 3'6%, Sulfato de Potasio 2'5% y Carbonato de Calcio 0'5%.

² Ejemplo de un producto cerámico muy higroscópico como puede ser un ladrillo, su porosidad se ha calculado en torno a un 40%, siendo capaz de absorber una cantidad de agua entre 0'05-0'30 gr/cm² minuto. Sus poros presentan un diámetro de < 0'25 μ, siendo del 6% su valor mínimo de absorción de agua (ESBERT, ORDAZ, ALONSO y MONTOTO, 1997: 96 y 99).

³ Es necesario hacer una división y aclaración de ciertos conceptos como son los términos *eflorescencias* y *subeflorescencias*. Las primeras se definirían como "la

formación de un depósito de sales minerales sobre la superficie de una pieza cerámica determinada, por exposición de los agentes atmosféricos” habiendo sido ya redactada en 1925. Y las segundas, serían aquellas sales que cristalizan en el interior de poros y fisuras, y cuya visualización no es perceptible desde el exterior (ESBERT, ORDAZ, ALÓNSO y MONTOTO, 1997: 98 y 99).

⁴ La Carnalita es un Cloruro doble de Potasio y Magnesio hidratado ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ó $KMgCl_2 \cdot 6H_2O$) de color blanco, parduzco o rojizo... fosforescente, delicuescente, de sabor amargo y muy blando; dureza 1 en la escala de Mohs.

⁵ Otra forma más sencilla de testar cloruros, aunque menos eficaz y recomendable pues sería necesario una altísima presencia de sales, es calentar una cucharilla que contenga una muestra del agua. Al evaporarse ésta, la cristalización nos anunciará la existencia (JACKSON y DAY, 1986: 22).

⁶ Si no se consigue en el mercado puede ser preparado en el laboratorio, disolviendo 1 gr. de Ácido Sulfámico en 30 cm³ de Ácido Acético. Seguidamente se diluye en 70 cm³ de agua destilada.

⁷ Igualmente y si no se consigue en el mercado, puede ser preparado en el laboratorio disolviendo 0,3 gr. de - Naftilamina en 30 cm³ de Ácido Acético, y posteriormente disolver en 70 cm³ de agua destilada.

⁸ Disolver 1,4 gr de Sulfato de Hierro (II) heptahidratado - $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ - en 10 cm³ de agua destilada. Se deberá guardar tapado.

⁹ Según R. Margalef a las siguientes temperaturas les corresponden tensiones superficiales:

| | |
|------|--------------------|
| 0°C | 75´6 Dinias / cm-1 |
| 10°C | 74´4 Dinias / cm-1 |
| 20°C | 72´7 Dinias / cm-1 |
| 30°C | 71´2 Dinias / cm-1 |

¹⁰ La mayor parte de las disoluciones acuosas poseen una variación de temperatura aproximadamente de un 2% por cada grado C°. Valor que suele estar corregido en estos aparatos.

¹¹ Llamamos “Agentes Secuestrantes o Complejantes” a aquellos elementos que están compuestos por moléculas polares con fuertes partes negativas, capaces de unirse a cationes metálicos por fuerzas de tipo electrostático, descomponiendo estos compuestos después de “secuestrar” moléculas de los elementos que lo conforman, y formando complejos. Si la molécula secuestrante tiene dos zonas con posibilidad de unirse ambas a un ion metálico, estaremos en presencia de un “quelato” (pinza). Los grupos amino (-NH₂), carboxilo (-COOH) e hidroxilo (-OH) intervienen de forma frecuente en la formación de quelatos (BERTHOLON y RELIER, 1990: 201).

¹² Debido a la dificultad de encontrar este producto fue sustituido por sal disódica de EDTA.

DETERIORO DE VIDRIOS EN MEDIO SUBMARINO

Noemí CARMONA TEJERO

Fundación Centro Nacional del Vidrio. Real Fábrica de Cristales
Pº Pocillo 1, 40100 La Granja de San Ildefonso (Segovia)

Manuel GARCÍA HERAS

CENIM. Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Avda. Gregorio del Amo 8, 28040 Madrid

Cristina GIL PUENTE

Fundación Centro Nacional del Vidrio. Real Fábrica de Cristales
Pº Pocillo 1, 40100 La Granja de San Ildefonso (Segovia)

Mª Ángeles VILLEGAS BRONCANO

CENIM. Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Avda. Gregorio del Amo 8, 28040 Madrid

Autor responsable de la correspondencia: mavillegas@cenim.csic.es

*A nuestro Profesor, el Dr. José M^a Fernández Navarro,
con motivo de su septuagésimo aniversario*

1. Introducción

Dentro de la amplia variedad de materiales arqueológicos, el vidrio es uno de los que se estudia frecuentemente cuando se halla en yacimientos enterrados (BRILL, 1999; HARTMANN *et alii*, 1997; McCRAY y KINGERY, 1998). Sin embargo, el estudio del deterioro experimentado por los vidrios arqueológicos de procedencia subacuática es prácticamente una especialidad desconocida y poco habitual. Las alteraciones quimicofísicas de los vidrios pertenecientes a las vidrieras históricas, así como las de otros objetos de vidrio de museos, han sido el objetivo de numerosos trabajos de investigación (LILYQUIST y BRILL, 1993; CARMONA TEJERO, 2002; BIMSON y FREESTONE, 1987; MÜLLER, 1992). En ellos se ha puesto de manifiesto la interacción del medio inmediato con el vidrio y cómo dependiendo de la composición particular del vidrio y de la mayor o menor agresividad química del medio, se desencadenan y desarrollan una serie de mecanismos de corrosión del vidrio (NEWTON y PAUL, 1980; NEWTON y DAVISON, 1989; GARCÍA HERAS *et alii*, 2003).

En general el vidrio es un material de muy buena resistencia química. Su mayor o menor interacción con el medio ambiente depende fundamentalmente de su composición química, lo que determina su "atacabilidad". Evidentemente, las características del medio (humedad relativa, concentración de sales, presencia de gases contaminantes, grado de acidez-basacidad, microorganismos, temperatura, etc.) constituyen los factores externos inmediatos que agravan la alteración de la superficie de los vidrios y dificultan su conservación. El deterioro del vidrio comienza siempre en su superficie, como consecuencia de su interacción con el aire y los gases que en él van disueltos (vapor de agua, CO₂, SO₂, NO_x, etc.) (FERNÁNDEZ NAVARRO, 2000). Cuando el vidrio se encuentra enterrado, son la humedad del suelo y las diferentes especies químicas y biológicas del entorno (sales, iones metálicos, microorganismos y otros seres vivos) los que intervienen en el proceso de degradación superficial. En el caso de vidrios en contacto con medios acuo-

sos, cabe esperar una interacción muy intensa entre la superficie de aquéllos y las especies químicas disueltas en el agua. La acidez-basicidad del agua, que varía dependiendo de los compuestos químicos presentes, juega un papel muy importante en el proceso de corrosión, como se verá más adelante.

Por su naturaleza frágil, desde el punto de vista mecánico, los vidrios procedentes de determinados períodos de la Historia o de diversos entornos, especialmente difíciles de explorar, han llegado a nuestros días muy fragmentados, por lo que resultan escasos y siempre difíciles de fechar y de estudiar. Debido a estas limitaciones, el presente trabajo se planteó como un estudio del comportamiento químico de distintos vidrios en un medio submarino simulado. Para ello se preparó una disolución con una composición semejante a la del agua marina, aunque mucho más concentrada, y en ella se sumergieron cinco vidrios de distinta composición, que se seleccionaron como los más representativos que pueden encontrarse en objetos arqueológicos subacuáticos. Los ensayos de ataque acelerado se llevaron a cabo en caliente y en frío, mediante una serie de ciclos, tras los cuales los vidrios se extrajeron y se estudiaron con diversas técnicas analíticas y de observación.

El principal objetivo del presente trabajo es la caracterización de distintos vidrios sometidos a la acción de un agua marina preparada en el laboratorio y de los mecanismos de alteración química producidos en ellos, en función de las composiciones de dichos vidrios y de las condiciones de los ensayos.

2. Interacción del vidrio con el agua

La interacción de un medio acuoso con la superficie del vidrio se produce en diversas etapas (FERNÁNDEZ NAVARRO, 1985; VILLEGAS BRONCANO y GARCÍA HERAS, 2002). La inmensa mayoría de los vidrios que se pueden encontrar en el Patrimonio Histórico contienen, además de SiO₂, otros óxidos como Na₂O, K₂O, CaO, MgO, Al₂O₃, PbO, etc. Los vidrios comunes utilizados para acristalamientos, por ejemplo, son vidrios del sistema Na₂O-CaO-SiO₂ (vidrios de silicato sódico-cálcico). Los vidrios romanos también pertenecen a este sistema de composición. Los vidrios de Bohemia son del sistema K₂O-CaO-SiO₂ (vidrios de silicato potásico-cálcico). Los vidrios de alta calidad utilizados para objetos decorativos y vidrio de mesa de alta calidad son del sistema K₂O-PbO-SiO₂ (vidrio cristal al plomo). La primera etapa de la interacción del agua con la superficie de estos vidrios multicomponentes es un cambio iónico de los iones alcalinos de la superficie del vidrio (Na⁺, K⁺) con los iones H⁺ del agua, según la ecuación [1]:



Simultáneamente, las moléculas de agua penetran en la capa de gel de sílice formada y producen un leve hinchamiento debido al aumento del volumen estructural.

El siguiente paso de la interacción vidrio-agua es el ataque de los iones hidroxilo (OH⁻) que van quedando libres en el medio acuoso (cada vez más básico) a las uniones siloxano del vidrio, siguiendo la ecuación [2]:



Los enlaces Si-O-Si se rompen y se generan más grupos silanol (Si-OH) y grupos con oxígeno no puente (Si - O⁻). Esto supone la progresiva destrucción del retículo vítreo que comienza a producirse en los pequeños defectos de la superficie del vidrio dando lugar a picaduras. El ataque al vidrio no concluye con la reacción [2], sino que los grupos (Si - O⁻) formados pueden reaccionar con otras moléculas de agua, según la ecuación [3]:



dando lugar a más grupos silanol e iones hidroxilo que hacen cada vez más básico el medio acuoso. De este modo, el pH del agua aumenta considerablemente al aumentar la concentración de iones OH⁻ y lo que comenzó siendo un ataque por agua en medio neutro (pH=7), evoluciona a un ataque mucho más agresivo en medio básico (pH > 7). Por esta razón la acidez-basicidad del medio acuoso (pH) es un factor determinante del tipo de ataque que se produce en los vidrios y de la intensidad de la agresión química que tiene lugar.

Previsiblemente, la interacción del vidrio con el agua marina preparada artificialmente, cuyo pH es ligeramente mayor de 7, puede desarrollarse por un proceso de hidratación intensa que daría lugar a una película relativamente gruesa de gel de sílice, donde se difundirían fácilmente otros iones procedentes de las sales que contiene el agua marina. Como consecuencia del proceso de hidratación y del intercambio de iones alcalinos del vidrio por los iones H⁺ del agua, se puede esperar una desalcalinización superficial en el vidrio relativamente profunda, ya que el vidrio permanece sumergido por períodos prolongados de tiempo. También puede esperarse que, transcurrida una primera etapa del ataque hidrolítico, se establezca un cierto equilibrio de concentraciones de iones en la intercara vidrio-agua marina y en la capa de gel de sílice formada. Cuando la desalcalinización del vidrio sea intensa (dependiendo de la composición particular de cada vidrio), se podrían producir aumentos localizados del pH en las zonas más vulnerables de la superficie del vidrio donde se liberan muchos iones OH⁻. Esta situación favorecería un ataque básico que originaría la destrucción de la red del vidrio, como se ha explicado anteriormente. Esta hipótesis sobre el comportamiento del vidrio en medios subacuáticos marinos, se ha tratado de comprobar experimentalmente en los apartados siguientes.

3. Parte experimental

3.1. Muestras de vidrio utilizadas

Para el presente estudio se seleccionaron cinco vidrios de distinta composición (Tabla 1). El vidrio 1 es un vidrio común de silicato sódico-cálcico, como los que se utilizan actualmente en acristalamientos. Su composición química corresponde a la de los vidrios de los períodos romano, premedieval, renacentista y moderno para objetos de calidad normal de vidrio hueco y para cerramientos.

| Óxidos | Muestras (% peso) | | | | |
|--------------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Na ₂ O | 13,80 | 0,75 | 0,09 | 0,70 | 3,15 |
| MgO | 4,47 | 0,27 | 0,03 | 3,22 | --- |
| Al ₂ O ₃ | 0,61 | 0,22 | 0,21 | 3,34 | --- |
| SiO ₂ | 70,83 | 74,10 | 59,28 | 47,33 | 53,04 |
| P ₂ O ₅ | 0,04 | 0,18 | --- | 2,87 | --- |
| K ₂ O | 0,43 | 13,55 | 15,81 | 18,81 | 10,87 |
| CaO | 9,69 | 10,03 | 0,13 | 22,65 | 0,06 |
| MnO | --- | 0,04 | 0,09 | 1,02 | --- |
| Fe ₂ O ₃ | 0,12 | 0,12 | 0,15 | 0,06 | 0,03 |
| As ₂ O ₃ | --- | 0,74 | 0,13 | --- | --- |
| Sb ₂ O ₃ | --- | --- | 0,03 | --- | 0,59 |
| BaO | --- | --- | --- | --- | 2,13 |
| PbO | --- | --- | 24,05 | --- | 30,13 |
| Clase hidrolítica | 3 | 3 | 2 | 4 | 2 |

Tabla 1. Composición (% peso determinado por FRX) y clase hidrolítica de los vidrios estudiados

El vidrio 2 es un vidrio de silicato potásico-cálcico procedente de una lámpara producida durante el siglo XVIII en la Real Fábrica de Cristales de La Granja (Segovia). La composición química de este vidrio (Tabla 1) es muy semejante a la de los vidrios potásicos de Bohemia y de centroeuropa, que se utilizaron ampliamente en objetos decorativos y de mesa.

La muestra 3 es un vidrio cristal al plomo (sistema K₂O-PbO-SiO₂) procedente de la araña de la Capilla Palafox de la Catedral de Burgo de Osma (Soria). Dicha lámpara, que se fabricó en torno a 1788 por el ayudante de maestro Joseph Pascual, también fue producida por la Real Fábrica de Cristales de La Granja. Su composición química (Tabla 1) se ajusta bastante a los requerimientos de la Norma actual para vidrio cristal (UNE 43-603-79, Norma Española. Vidrio. Nomenclatura y Terminología. Cristal. Vidrio sonoro, Madrid, 1979). Otros detalles sobre la caracterización quimicofísica de esta muestra pueden consultarse en GARCÍA HERAS *et alii* (aceptado, en prensa). Los vidrios cuyo contenido de óxido de plomo es mayor o igual a 24 % en peso, reciben la denominación comercial de *vidrio cristal* y se utilizan para la fabricación de objetos ornamentales y de mesa de elevada calidad.

El vidrio 4 es un vidrio de silicato potásico-cálcico preparado en el laboratorio por fusión convencional. Los detalles sobre su obtención se recogen en Carmona Tejero (2002). La composición de este vidrio (Tabla 1) simula la de aquellos que se utilizaron durante los siglos XIII y XIV en la fabricación de vidrieras. Este tipo de vidrio potásico se preparó en los talleres ubicados en los bosques centroeuropeos. Para ello, se emplearon cenizas de

madera como materia prima fundente en la elaboración de los vidrios, debido a la escasez de otros aportadores del fundente habitual, el Na_2O procedente de plantas marinas.

El vidrio 5 es un vidrio cristal al plomo superior según la Norma antes citada. Contiene aproximadamente un 30% en peso de PbO (Tabla 1) y procede de la producción actual de la Fundación Centro Nacional del Vidrio de la Real Fábrica de Cristales de La Granja. Este vidrio cristal se utiliza, al igual que el vidrio 3 (cristal al plomo con 24% en peso de PbO), para la fabricación de piezas ornamentales y de mesa de alta calidad.

La selección de estas cinco muestras, que corresponden a otros tantos tipos de vidrio, se ha realizado con un criterio histórico, por cuanto representan composiciones de vidrios de diferentes períodos. Asimismo, se ha aplicado un criterio científico y práctico que da respuesta al interés sobre el conocimiento de la durabilidad química de dichos vidrios cuando se atacan por inmersión en disoluciones acuosas concentradas de sales (que pueden simular el medio submarino).

Finalmente se han estudiado algunos fragmentos de la capa externa de un vidrio perteneciente a una botella holandesa del siglo XVIII, procedente de un pecio hundido durante la actividad comercial mantenida en ese período entre España y América. La pieza pertenece a los fondos del museo de la Fundación Centro Nacional del Vidrio de La Granja (nº de inventario 704).

3.2. Ensayos de envejecimiento acelerado. Para estudiar la respuesta al medio submarino de los vidrios seleccionados, se llevaron a cabo ensayos de envejecimiento acelerado por inmersión de las muestras en una disolución que simula la composición media del agua de mar.

3.2.1. Preparación del agua de mar simulada. Para simular el agua de mar, se preparó un baño de sales a partir de agua desionizada y de diferentes compuestos químicos de calidad *para análisis*, sin purificación previa. La composición del baño de sales fue la siguiente (masa en gramos referida a 1000 g de agua): 216,0 g NaCl ; 45,0 g MgCl_2 ; 36,0 g Na_2SO_4 ; 9,9 g CaCl_2 ; 6,3 g KCl ; 1,8 g NaHCO_3 ; 0,234 g H_3BO_3 y 1000,0 g H_2O (CIFUENTES LEMUS *et alii*, 1986).

La disolución se preparó nueve veces más concentrada que la composición media del agua marina, con el fin de que pudieran llevarse a cabo los ensayos de envejecimiento en el laboratorio en períodos de tiempo más cortos. No fue posible obtener disoluciones más concentradas ya que se producía una sobresaturación y precipitación de los compuestos más insolubles.

El pH del baño de sales al inicio de los ensayos fue de 7,79 (medido a $12,9^\circ\text{C}$, lo que supone una temperatura media respecto a las dos temperaturas extremas a las que se realizaron los ensayos de envejecimiento). La disolución en la que se envejecieron las muestras es, por lo tanto, ligeramente básica o alcalina.

3.2.2. Condiciones de los ensayos y técnicas de caracterización. Para la realización de los ensayos de envejecimiento acelerado se dispusieron 2

series de muestras de cada uno de los vidrios de la Tabla 1. Una serie se trató a -15°C (clave F en la nomenclatura de las muestras), para lo cual se utilizaron 5 contenedores de polipropileno con tapa y con 50 ml del agua marina simulada cada uno. En ellos se introdujeron los vidrios sujetos de modo que la mayor parte de su superficie estuviera en contacto con la disolución. Los contenedores con el baño de sales y las muestras de vidrio se depositaron en una cámara climática Minitest (serie CCM-25/81). La otra serie se trató a 40°C (clave C en la nomenclatura de las muestras). Se utilizaron 5 contenedores de teflón con tapa y con 50 ml del baño de sales preparado, en los que se introdujeron los 5 vidrios del mismo modo que en la primera serie. En este caso los contenedores con la disolución salina y las muestras se depositaron en un horno Labotherm modelo L9/11, provisto de programador de temperatura y tiempo.

Para las dos series de ensayos se realizaron un total de 100 ciclos de 24 h cada uno a las temperaturas de -15 y 40°C , respectivamente. Cada 25 ciclos, esto es, al finalizar los ciclos 25° , 50° , 75° y 100° , las muestras se extrajeron de los baños para observarlas por microscopía óptica (MO) con un microscopio Nikon modelo Optiphot 2-POL. Dichas observaciones se realizaron con las muestras atacadas tal como se extrajeron de sus baños (sin ningún tipo de limpieza), y con las muestras sometidas a una limpieza suave. En este segundo caso, la manipulación de los vidrios fue la siguiente: cada vidrio fue sumergido 5 veces durante 5 segundos sucesivamente en 3 porciones de 50 ml de agua desionizada cada una. De este modo se eliminó parte de las cristalizaciones de sales adheridas a la superficie de los vidrios, evitando frotarlos para no modificar la capa de alteración formada durante los ensayos.

Los vidrios tratados 100 ciclos en caliente, así como los tratados en frío, se limpiaron según se ha descrito y se observaron mediante microscopía electrónica de barrido (MEB), con un equipo JEOL modelo JXA-840, con tensión de aceleración de 15 kV. Las muestras se recubrieron con una fina película de carbono para hacerlas conductoras. Asimismo, se realizaron microanálisis en distintas zonas de la superficie de los vidrios por espectrometría de rayos X de dispersión de energías (EDX), con un espectrómetro Rontec con detector de Si (Li) acoplado al microscopio indicado.

La composición química de los vidrios originales (antes de los ensayos de envejecimiento) se determinó por fluorescencia de rayos X (FRX), con un espectrómetro de dispersión de longitudes de onda Philips modelo PW-1404 con tubo de rodio. Los espectros de transmisión luminosa de los vidrios se registraron en la región UV/VIS, con un espectrofotómetro Perkin Elmer modelo Lambda 19. Las escamas superficiales procedentes de la botella del siglo XVIII se analizaron mediante difracción de rayos X, con el fin de determinar su naturaleza cristalina o amorfa. Para ello se utilizó un equipo Siemens modelo D-500. En la Tabla 1 se indican los datos relativos a la resistencia química de los vidrios estudiados (clase hidrolítica según la Norma UNE 43-708-75, Norma Española. Ensayos de vidrio. Determinación de la resistencia hidrolítica del vidrio en polvo a 98°C).

4. Resultados

4.1. Composición química de los vidrios y pH del agua marina simulada.

En la Tabla 1 se recogen los resultados de los análisis de FRX de los vidrios originales. La composición química de los vidrios es el factor intrínseco más importante a tener en cuenta cuando éstos se someten a procesos de degradación. Como es conocido (PAUL, 1982; FERNÁNDEZ NAVARRRO, 1985), los vidrios son tanto más vulnerables al ataque químico cuanto mayor es su proporción de óxidos alcalinos, siendo más atacables los vidrios con K_2O respecto a los que contienen Na_2O , y éstos más atacables que los que contienen Li_2O . Las proporciones elevadas de óxidos alcalinos dan lugar a retículos vítreos más abiertos y, en consecuencia, favorecen la penetración de los iones del medio de ataque a la vez que facilitan la extracción de iones del vidrio. Los porcentajes de óxidos alcalinos (Na_2O y K_2O) de las muestras estudiadas (Tabla 1) indican que el orden que cabría esperar, *a priori*, de mayor a menor atacabilidad de los vidrios es el siguiente: $4 > 3 > 2 \approx 1 > 5$. Sin embargo, no sólo los óxidos alcalinos determinan la atacabilidad de un vidrio. El resto de los componentes (su naturaleza y concentración) también influyen en la estabilidad química del vidrio. En los vidrios estudiados los óxidos de silicio y de plomo, así como el de aluminio, son los más importantes puesto que son los formadores principales de la red vítrea. Cuanto mayor sea su porcentaje se puede esperar mayor estabilidad química. Atendiendo a este criterio el orden de mayor a menor atacabilidad de los vidrios de la Tabla 1 sería el siguiente: $4 > 1 > 2 > 5 \approx 3$. Considerando las dos secuencias anteriores se puede deducir *a priori* que el vidrio 4 (silicato potásico-cálcico, tipo medieval de vidrieras) sería el más susceptible de ataque químico. Para el vidrio 2 (silicato potásico-cálcico tipo Bohemia) se puede esperar una resistencia media o baja. Para la muestra 5 (vidrio cristal superior al plomo 30% PbO) cabe esperar una buena resistencia química, mientras que la resistencia de la muestra 3 (vidrio cristal al plomo, 24% PbO) sería algo menor (la resistencia de los vidrios cristal con 24% de PbO ha sido estudiada por AHMED *et alii*, 1998). Finalmente, el vidrio 1 (silicato sódico-cálcico) se comportaría como un vidrio resistente desde el punto de vista de su contenido de óxidos alcalinos y esto compensaría su proporción ligeramente inferior de óxidos formadores, respecto a los otros vidrios de silicato potásico-cálcico (muestras 2 y 4).

La atacabilidad de un vidrio también viene determinada por el pH del medio líquido al que se expone. Este es el factor extrínseco más importante en un proceso de degradación hidrolítica. Como ya se ha indicado en el apartado 2, al aumentar el pH desde su valor neutro (pH=7) hasta valores básicos (entre 7 y 14), el mecanismo de ataque transcurre según la ecuación [3], lo que da lugar a la destrucción de la red vítrea. El pH inicial del baño de sales fue de 7,79. Una vez concluidos los 100 ciclos de envejecimiento, el pH de los extractos residuales se midió para cada una de las muestras. Los baños de las muestras 1F, 2F, 4F y 5F tenían pH~10,5; el de la muestra 3F era de ~10,3 y los de las muestras 1C, 2C, 3C, 4C y 5C era de ~10,0. Esto indica que la alcalinidad del medio ha aumentado considerablemente duran-

te los ensayos. Por lo tanto, es de esperar que el ataque hidrolítico neutro inicial (pH~7,8) se transforme en un ataque básico debido, probablemente, a la extracción de una proporción considerable de iones alcalinos de la superficie de los vidrios que, junto con los iones OH⁻ procedentes del agua del medio líquido, forman hidróxidos sódico y potásico que hacen aumentar el pH.

4.2. Comportamiento de los vidrios

4.2.1. *Muestra procedente de la botella del siglo XVIII.* Los difractogramas de rayos X de las escamas superficiales de aspecto irisado, de la botella del siglo XVIII procedente de un naufragio, pusieron de manifiesto la ausencia de picos de difracción. Este resultado confirma que las escamas son de carácter amorfo, por lo que puede decirse que se trata de la capa de gel de sílice desecada que se forma como consecuencia de la prolongada interacción del agua de mar con la superficie de la botella. El aspecto de estas escamas es muy similar al de las capas de SiO₂ amorfo de otras muestras de vidrio arqueológico sometidas durante mucho tiempo a la acción directa de

la humedad. Las escamas, resultado de un ataque hidrolítico prolongado, son de tipo estratificado que debe atribuirse al proceso de secado sufrido desde que se extrajeron del medio marino. Por otro lado, la presencia de irisaciones se debe, como es sabido (FERNÁNDEZ NAVARRO, 2000), a un fenómeno de colores de interferencia originado por la interacción de la luz con las capas

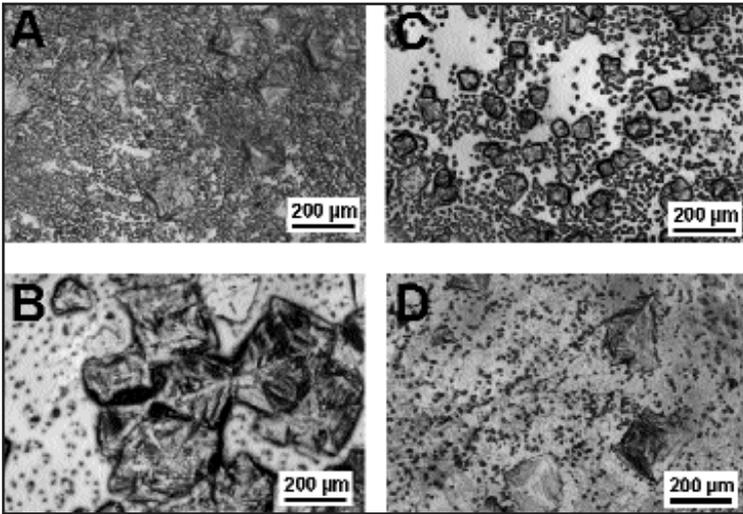


Lámina I. Imágenes MO de las muestras de vidrio sin limpiar tras los ataques. A) 5F, 50 ciclos. B) 1C, 25 ciclos. C) 2C, 25 ciclos. D) 4C, 25 ciclos

de gel de sílice superpuestas de distinto espesor. Obviamente, deben desecharse por completo otro tipo de suposiciones sobre el origen de estas capas irisadas, particularmente las que hacen referencia a un proceso secreto de los vidrieros de los siglos pasados para producir decoraciones especiales.

4.2.2. *Observaciones de los vidrios sin limpiar tras los ensayos de envejecimiento.* Después de los ensayos de envejecimiento acelerado, todos los vidrios presentaron un aspecto superficial más o menos alterado junto con depósitos, probablemente procedentes del baño de agua marina simulada, que en algunos casos fueron muy abundantes. En los vidrios cristal al plomo

(muestras 3 y 5) y en los de silicato potásico-cálcico (muestras 2 y 4) se pudo observar visualmente la presencia de capas irisadas. Al igual que en el caso de la muestra de la botella del siglo XVIII, dichas irisaciones se deben a los colores de interferencia producidos por la capa de gel de sílice formada en la superficie de los vidrios.

Antes de proceder a la limpieza suave de estos depósitos, se realizaron observaciones mediante MO. En la Lámina I se presenta el aspecto superficial de algunas muestras tal como se obtuvieron al finalizar los ciclos indicados. Tanto en las muestras que se trataron a -15°C como en las tratadas a 40°C se observa, junto con las picaduras resultantes del ataque químico, la presencia de formas geométricas. Dichos depósitos pueden atribuirse a cristales de NaCl o de otra sal procedente de la disolución saturada de agua marina simulada en la que se realizaron los ensayos.

4.2.3. Observaciones de los vidrios limpios tras los ensayos de envejecimiento. Una vez limpias las muestras de los depósitos salinos del baño, se llevaron a cabo observaciones de la superficie alterada mediante MO y MEB.

Vidrio 1 (silicato sódico-cálcico).

En la Lámina II se recogen algunas fotografías correspondientes al vidrio 1. La muestra tratada en frío (-15°C) presentó una gran profusión de picaduras, después de 25 ciclos de envejecimiento (Lámina II, A y B). Se pudo observar que en el transcurso de los ciclos, hasta 100 ciclos, no se produjo ninguna variación significativa de la densidad o tamaño de las picaduras. Los microanálisis EDX realizados en el centro de una picadura de aproximadamente $17\ \mu\text{m}$ de diámetro (análisis 1F1, Tabla 2, Lámina II, B) demostraron un gran enriquecimiento de CaO y una disminución muy importante de SiO_2 , respecto a la composición original del vidrio (Tabla 1). Esto

indica que en las picaduras se ha producido un ataque al vidrio muy intenso, con pérdida de SiO_2 y acumulación de compuestos de calcio, tanto los pro-

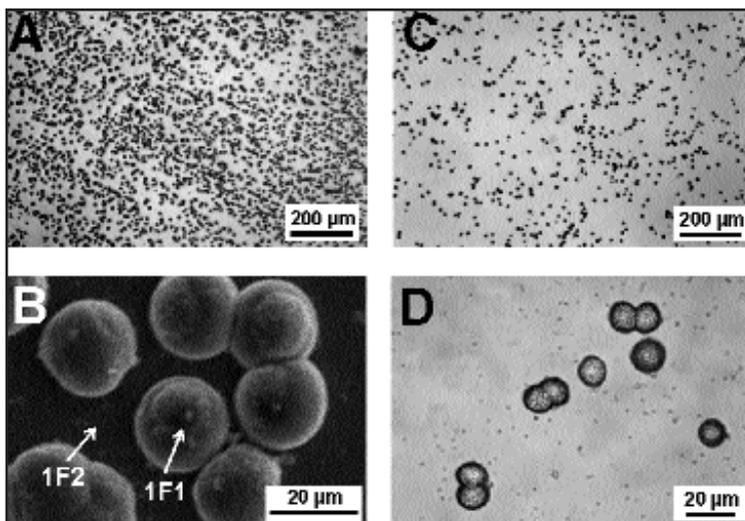


Lámina II. Imágenes del vidrio 1. A) MO, muestra 1F, 25 ciclos. C) MEB, muestra 1F, 100 ciclos. C) MO, muestra 1C, 25 ciclos. D) MO, muestra 1C, 100 ciclos.

| Muestra | Análisis | Óxidos (% peso) | | | | | | | | | | | |
|---------|----------|-------------------|------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|------|-----------------|------------------|------|------|-----|
| | | Na ₂ O | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | P ₂ O ₅ | SO ₂ | PbO | Cl ⁻ | K ₂ O | CaO | BaO | MnO |
| 1 | 1F1 | 2,7 | --- | --- | 3,5 | --- | 2,9 | --- | 0,8 | --- | 90,1 | --- | --- |
| | 1F2 | 9,3 | 3,0 | 2,6 | 73,3 | --- | --- | --- | --- | --- | 11,8 | --- | --- |
| 2 | 2C1 | 1,4 | 10,3 | --- | 9,9 | --- | 5,2 | --- | 1,8 | 1,5 | 69,9 | --- | --- |
| | 2C2 | 0,5 | 19,8 | 1,5 | 56,5 | --- | 2,6 | --- | 3,7 | 8,4 | 7,0 | --- | --- |
| | 2C3 | 0,4 | 4,0 | --- | 71,5 | --- | 1,4 | --- | 0,7 | 11,4 | 10,5 | --- | --- |
| 3 | 3F1 | 2,0 | 1,0 | 3,5 | 5,7 | --- | 3,2 | --- | 0,7 | 0,9 | 83,0 | --- | --- |
| | 3F2 | 0,4 | 0,9 | 2,2 | 74,7 | --- | --- | 20,3 | --- | 1,3 | 0,2 | --- | --- |
| | 3C1 | --- | 5,0 | --- | 75,4 | --- | --- | 19,2 | --- | 0,4 | --- | --- | --- |
| | 3C2 | --- | 21,1 | --- | 62,9 | --- | --- | 14,9 | --- | 1,1 | --- | --- | --- |
| 4 | 4F1 | 0,3 | 1,8 | 2,5 | 2,5 | 2,3 | 1,5 | --- | --- | 1,2 | 87,9 | --- | --- |
| | 4F2 | 0,2 | 2,2 | 7,4 | 54,5 | 3,6 | --- | --- | 0,1 | 14,5 | 17,5 | --- | --- |
| | 4C1 | 1,1 | 25,7 | 7,2 | 51,4 | --- | 2,2 | --- | 3,4 | 3,7 | 3,6 | --- | 1,7 |
| | 4C2 | 0,3 | 16,0 | 5,2 | 40,9 | 2,3 | 1,1 | --- | 1,8 | 13,2 | 18,3 | --- | 0,9 |
| 5 | 5F1 | 2,4 | --- | --- | 34,9 | --- | --- | 12,4 | --- | 4,8 | 45,5 | --- | --- |
| | 5F2 | 2,4 | --- | --- | 63,1 | --- | --- | 24,8 | --- | 9,7 | --- | --- | --- |
| | 5C1 | 0,7 | 25,3 | 0,9 | 55,4 | --- | 3,2 | --- | 0,2 | 1,6 | 2,2 | 10,5 | --- |

F: Ensayo en frío (-15°C).
C: Ensayo en caliente (40°C).

Tabla 2. Resultados de los microanálisis de EDX (% peso) realizados en las muestras tras 100 ciclos de envejecimiento acelerado

cedentes del baño de sales como los extraídos del vidrio. El microanálisis del vidrio 1 en las zonas donde no hay picaduras (análisis 1F2, Tabla 2, Lámina II, B) demostró que la superficie del vidrio se ha enriquecido en SiO₂ y CaO y ha perdido Na₂O, respecto al vidrio original (Tabla 1). Estos resultados apuntan que el vidrio 1 se ha descalcificado superficialmente como consecuencia del ataque hidrolítico y que en puntos preferenciales se han producido picaduras de un ataque de tipo básico más profundo, con pérdida de masa (SiO₂) y acumulación de compuestos de calcio en los cráteres (posiblemente hidróxido y/o carbonato).

Después de los ensayos de envejecimiento en caliente (40°C), el vidrio 1 presenta picaduras semejantes a las que se producen tras los ensayos en frío, aunque menos abundantes (Lámina II, C y D). El tamaño medio de las picaduras (aproximadamente 10 μm) (Lámina II, D) es menor que las que produce el tratamiento en frío. También se observó que en el ensayo en caliente el número de picaduras por unidad de superficie disminuye ligeramente al aumentar el número de ciclos del ensayo, y que se producen más interconexiones entre las picaduras (Lámina II, D). Esto puede deberse a que en caliente el proceso de ataque hidrolítico-básico procede más rápidamente, por lo que las picaduras no crecen demasiado antes de interconectarse. Además, a 40°C no cabe esperar que las sales del baño saturado estén parcialmente precipitadas y adheridas a la superficie del vidrio como, por el contrario, puede ocurrir a -15°C, en que su solubilidad es mucho menor.

Vidrio 2 (silicato potásico-cálcico, tipo Bohemia).

Después del tratamiento en frío, el vidrio 2 presenta picaduras muy pequeñas alternadas con zonas sin huellas de ataque. También se observa una cierta disminución del número de picaduras al aumentar el número de ciclos

de envejecimiento. Cuando la muestra se trata en caliente, aparecen picaduras profundas y arrosariadas, tanto mayores al aumentar el número de ciclos (de unos 10 y 20 μm de diámetro en las muestras envejecidas con 25 y 100 ciclos, respectivamente) (Lámina III). También se forma una capa o costra de aspecto escamoso después de 100 ciclos (Lámina III, B), cuyo microanálisis por EDX (análisis 2C2, Tabla 2) indicó que se producía una disminución de óxidos de silicio, potasio y calcio, y un aumento considerable de magnesio que sólo puede atribuirse a depósito o impregnación de sales de magnesio procedentes del baño. Por otro lado, los microanálisis efectuados en el centro de una picadura (análisis 2C1, Tabla 2, Lámina III, B) pusieron de manifiesto que en ellas se acumulan óxidos de calcio y de silicio, así como de magnesio procedente del baño. La superficie del vidrio 2 que se encuentra por debajo de la capa de escamas (Lámina III, B, zona 2C3) es fundamentalmente el vidrio original un poco desalcalinizado, como demostró el microanálisis correspondiente (análisis 2C3, Tabla 2), en comparación con el vidrio 2 original (Tabla 1).

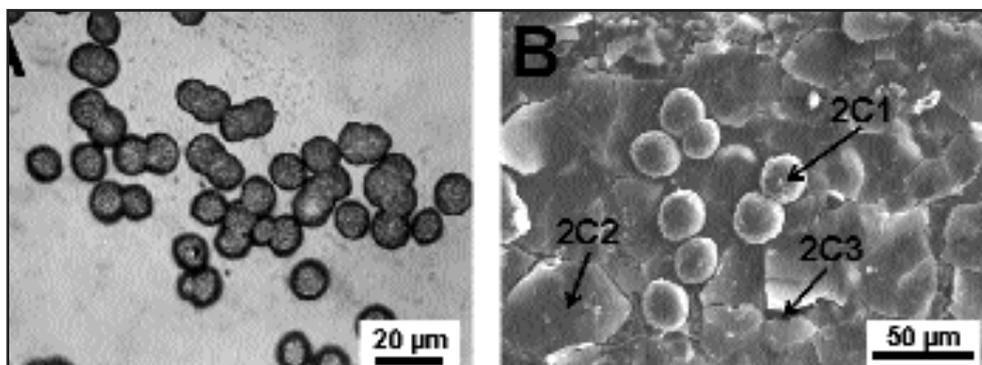


Lámina III. Imágenes del vidrio 2. A) MO, muestra 2C, 25 ciclos. B) MEB, muestra 2C, 100 ciclos

Vidrio 3 (cristal al plomo, 24 % PbO).

En el vidrio 3 se observó la formación no generalizada de picaduras pequeñas interconectadas y una capa o costra ligera de alteración después de 100 ciclos, en los ensayos de envejecimiento en frío. La Lámina IV, A y B, muestra algunas imágenes de este vidrio después del tratamiento en frío. El microanálisis EDX de las zonas donde las picaduras se concentran (análisis 3F1, Tabla 2, Lámina IV, A) indicó una gran acumulación de calcio, y óxidos de silicio, aluminio y sodio en mucha menor proporción. Esto se explica por la formación de una costra, como consecuencia de la interconexión de picaduras pequeñas ricas en calcio muy próximas entre sí, en aquellas partes de la superficie donde se presentan las picaduras. Además, según demuestra el microanálisis EDX efectuado en otras zonas de la muestra (análisis 3F2, Tabla 2, Lámina IV, B), se forma una capa en la que aumenta mucho el contenido de SiO_2 , disminuye el de K_2O y aún disminuye más el de PbO . Este resultado indica que dicha capa enriquecida en sílice se ha originado por

desalcalinización y pérdida del PbO, probablemente por un proceso de lixiviación. Efectivamente, el PbO es un óxido anfótero que en el medio alcalino (pH~10) en el que se produjo el ensayo se disuelve, al igual que el hidróxido de plomo [Pb(OH)₂] y otras sales como el carbonato de plomo y el carbonato básico de plomo (ARRIBAS JIMENO, 1978).

Los ensayos de envejecimiento en caliente del vidrio 3 originaron abundantes picaduras, de mayor tamaño que las formadas con el tratamiento en frío. Dichas picaduras coexisten con zonas que no presentan huellas de ataque y con otras en las que aumenta la densidad de las picaduras (Lámina IV, C). Después de 100 ciclos de envejecimiento aparece además una capa o costra de aspecto escamoso (Lámina IV, D). Debajo de esa costra se pudieron observar mediante MEB pequeñas picaduras a partir de 2700 aumentos. Los microanálisis EDX efectuados (análisis 3C1, Tabla 2) indicaron que debajo de la capa escamosa aparecía el vidrio enriquecido en SiO₂ y empobrecido en PbO (que se extrajo por las razones ya explicadas), además de un contenido relativamente elevado de magnesio que puede provenir de las sales del baño. Estos resultados también confirman que ha tenido lugar una intensa desalcalinización, ya que el contenido de K₂O en esa zona es muy

bajo comparado con el del vidrio 3 original (Tabla 1). Por otra parte, el microanálisis EDX de la capa o costra formada (análisis 3C2, Tabla 2, Lámina IV, D) demostró que ésta estaba formada por SiO₂, MgO y PbO, habiendo aumentado la proporción de los dos primeros respecto al vidrio 3 original; mientras que el porcentaje de PbO detectado es bastante inferior que en el vidrio original

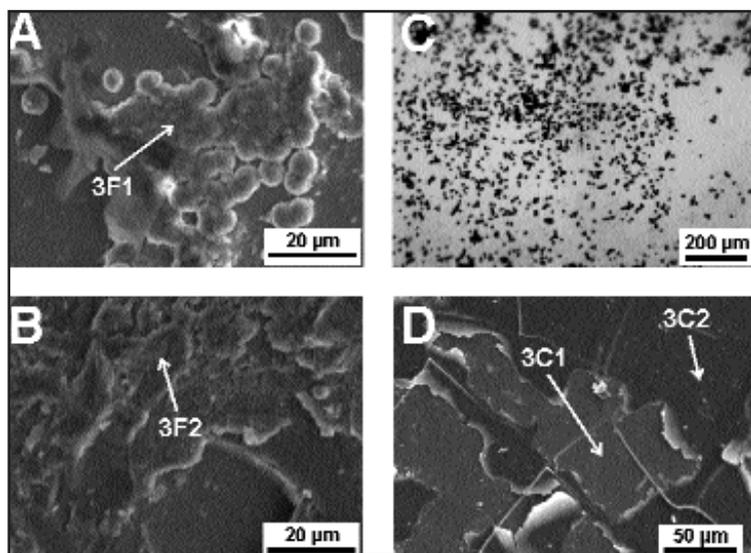


Lámina IV. Imágenes del vidrio 3. A) MEB, muestra 3F, 100 ciclos. B) MEB, muestra 3F, 100 ciclos C) MO, muestra 3C, 75 ciclos. D) MEB, muestra 3C, 100 ciclos

y el de K₂O se ha reducido más de diez veces (Tabla 1). Por lo tanto, la capa de aspecto escamoso puede ser atribuida a la primera superficie del vidrio fuertemente desalcalinizado, donde también se ha extraído buena parte del PbO y se han depositado sales de magnesio.

Vidrio 4 (silicato potásico-cálcico, tipo medieval).

Los ensayos de envejecimiento en frío del vidrio 4 dieron lugar a la aparición de picaduras abundantes de pequeño tamaño, como se puede observar en la Lámina V, A. Dichas picaduras aparecen inhomogéneamente distribuidas, apreciándose una cierta disminución de picaduras al aumentar el número de ciclos de envejecimiento, si bien en ese mismo sentido aumenta su interconexión y agrupamiento en forma de manchas. Los depósitos que se observan tras el ensayo de 100 ciclos en frío (análisis 4F1, Tabla 2, Lámina V, B) resultaron estar formados fundamentalmente por CaO y, en mucha menor proporción, por SiO₂, Al₂O₃, P₂O₅, MgO y K₂O. Prácticamente se puede decir que se trata de depósitos de compuestos cristalinos de calcio, ya que se aprecian formas triangulares de aspecto precristalino junto con otras cuyo grado de cristalinidad sería menor, como indica su falta de regularidad geométrica. La formación de los depósitos de calcio se puede explicar porque dichas sales son muy insolubles, sobre todo a la temperatura a la que se realizó el ensayo (-15°C). El análisis efectuado en la zona libre de depósitos (análisis 4F2, Tabla 2, Lámina V, B), confirma que tras 100 ciclos de envejecimiento en frío se ha producido una desalcalinización no muy intensa de la superficie del vidrio. Efectivamente, los contenidos de SiO₂ y Al₂O₃ han aumentado, mientras que el porcentaje de K₂O y CaO ha disminuido (Tabla 2), en comparación con la composición del vidrio 4 original (Tabla 1).

Después de los ensayos de envejecimiento en caliente, las muestras del vidrio 4 presentan muchas picaduras pequeñas no muy interconectadas por toda la superficie (Lámina V, C). Asimismo, se observa tras 100 ciclos de envejecimiento, la aparición de una capa o costra semidesprendida de aspecto homogéneo (Lámina V, D). El correspondiente microanálisis EDX (análisis 4C1, Tabla 2)

indicó un pequeño aumento en los contenidos de SiO₂ y Al₂O₃, y una disminución muy importante de CaO y K₂O, respecto al vidrio 4 original (Tabla 1). También se produjo un incremento considerable del porcentaje de magnesio. Esto puede interpretarse como una intensa desalcalinización del vidrio 4 y la deposición de

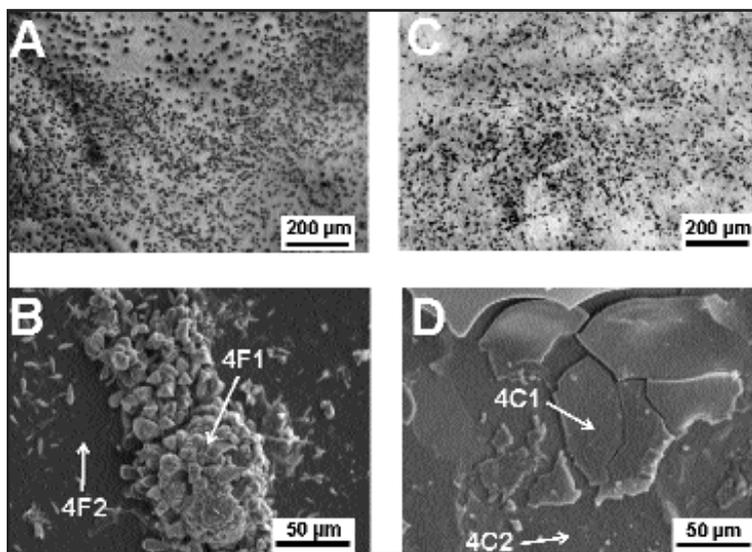


Lámina V. Imágenes del vidrio 4. A) MO, muestra 4F, 25 ciclos. B) MEB, muestra 4F, 100 ciclos C) MO, muestra 4C, 25 ciclos. D) MEB, muestra 4C, 100 ciclos

sales de magnesio procedentes del baño. Por otra parte, el microanálisis EDX de la zona que se encuentra bajo la capa de alteración (análisis 4C2, Tabla 2, Lámina V, D) mostró una ligera disminución de SiO_2 , K_2O y CaO , los tres principales componentes del vidrio; y un aumento muy notorio del contenido de magnesio que probablemente se debe, como ya se ha apuntado, a la deposición de sales de magnesio procedentes del baño. La pequeña disminución de SiO_2 , K_2O y CaO puede deberse a un proceso de disolución paulatina pero continua del vidrio, ya que por su alto porcentaje de K_2O y CaO , resulta muy atacable, como se pudo demostrar anteriormente (CARMONA TEJERO, 2002). En este caso el vidrio se ataca intensamente por toda su superficie y simultáneamente los productos del ataque se disuelven o se desprenden, cuando la costra de alteración es demasiado gruesa. De este modo, el vidrio vuelve a quedar desprotegido frente al ataque posterior del baño salino que, a su vez, se va haciendo más básico, según el mecanismo expuesto en el apartado 2.

Vidrio 5 (cristal superior al plomo, 30 % PbO).

El tratamiento de envejecimiento en frío produjo una multitud de pequeñas picaduras (Lámina VI, A), cuyo número aumenta ligeramente al aumentar el número de ciclos del ensayo. Después de 100 ciclos aparecen también escamas en la capa superficial de alteración. El resultado del microanálisis EDX realizado en la zona del fondo (análisis 5F2, Tabla 2, Lámina VI, A) indicó un enriquecimiento de SiO_2 y una disminución de los contenidos de PbO y de K_2O , comparados con la composición del vidrio 5 original (Tabla 1). Esta situación correspondería a una capa de gel de sílice formada a partir del vidrio original desalcalinizado en el que también se ha extraído parte del PbO . El microanálisis 5F1 (Tabla 2) realizado en el centro de una picadura (Lámina VI, A) indica que se trata del propio vidrio cristal, con proporciones bastante disminuidas de SiO_2 , PbO y K_2O , y muy enriquecido en CaO . Puesto que el vidrio 5 casi no tiene CaO en su composición (Tabla 1), se deduce que su elevada proporción en las picaduras procede del baño de sales. Este hecho podría explicarse debido a la insolubilidad relativa de las sales de calcio en el baño, que sería elevada en las condiciones de saturación y temperatura (-15°C) del ensayo.

Los ensayos de envejecimiento en caliente dieron lugar a picaduras generalizadas parcialmente interconectadas. Las picaduras se alternan con zonas donde no se aprecian huellas de ataque, excepto una microestructura cuartada de fondo (Lámina VI, B) que aparece a partir de 75 ciclos. Después de 100 ciclos se observó la aparición de escamas irisadas (Lámina VI, C). El aspecto de esa capa de alteración es muy semejante al que presenta la capa de gel de sílice procedente de la botella del siglo XVIII (apartado 4.2.1). Mediante MEB pudo apreciarse que la superficie del vidrio 5 quedó totalmente alterada después de 100 ciclos de envejecimiento en caliente. Su aspecto es poroso, inhomogéneo y con una textura enmarañada (Lámina VI, D). El microanálisis de esa zona (análisis 5C1, Tabla 2) demostró la desaparición del PbO , un pequeño aumento del contenido de SiO_2 , una gran disminución de K_2O y el depósito de una proporción elevada de magnesio. Tam-

bién se registra un aumento del contenido de CaO. Estos resultados pueden interpretarse como una desalcalinización intensa del vidrio y pérdida por lixiviación del PbO, que dan lugar al aumento relativo del porcentaje de SiO₂. El retículo vítreo rico en SiO₂ quedaría, por otro lado, impregnado de sales de magnesio y de calcio procedentes del baño, ya que el vidrio 5 original no contiene MgO ni prácticamente CaO (Tabla 1).

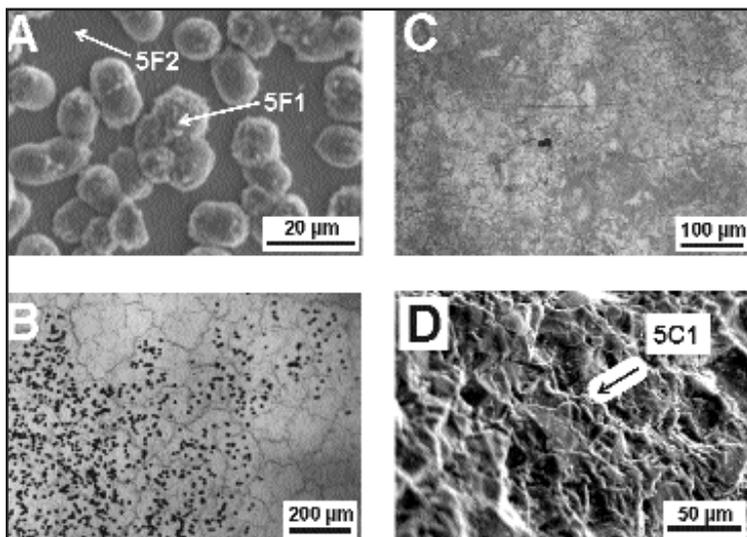


Lámina VI. Imágenes del vidrio 5. A) MEB, muestra 5F, 100 ciclos B) MO, muestra 5C, 75 ciclos. C) MO, muestra 5C, 100 ciclos. D) MEB, muestra 5C, 100 ciclos

4.2.4. Otros resultados y propiedades de los vidrios

Una vez finalizados los ensayos de envejecimiento acelerado, la mayoría de los vidrios presentaron un aspecto opalescente, más o menos acusado, en su superficie. Esta pérdida o disminución de la transparencia se evaluó mediante el registro de los correspondientes espectros de transmisión en la zona ultravioleta-visible. En la Lámina VII se muestran algunos de los espectros registrados antes y después de los tratamientos en frío y en caliente. El vidrio 1 original (Lámina VII, A) presenta un máximo de transmitan-

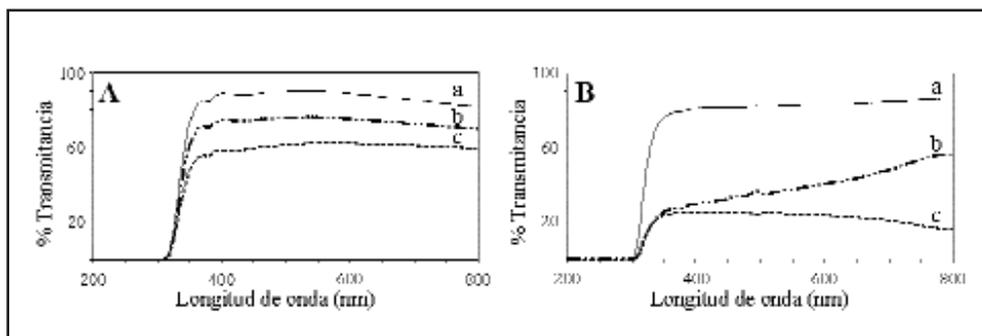


Lámina VII. Espectros de transmitancia UV-VIS. A) Vidrio 1 (silicato sódico-cálcico). B) Vidrio 5 (cristal al plomo, 30 % PbO). a) Muestras iniciales. b) Después de 100 ciclos a 40°C. c) Después de 100 ciclos a -15°C

cia luminosa alrededor del 90 %. Tras el envejecimiento a 40°C, la transmitancia disminuye hasta 75 % aproximadamente, y después del ensayo a -15°C, aún disminuye más, hasta cerca del 60 %. Evidentemente, la pérdida de transparencia (transmitancia luminosa) se debe al deterioro de la superficie del vidrio que se hace más rugosa y dispersa la luz en vez de dejarla pasar en la misma dirección con la que incide en la muestra. El hecho de que la muestra envejecida en frío sea aún menos transparente, esto es, presente una menor transmitancia, se puede explicar porque a la temperatura a la que se efectuó el ensayo (-15°C), las sales son muy insolubles y quedarían depositadas sobre las picaduras, la capa de gel de sílice y la superficie del vidrio en general. Dichos depósitos producen una dispersión intensa de la luz incidente que hace disminuir mucho su transparencia.

El proceso de opalización superficial por formación de una capa de alteración y depósito de sales es aún más intenso en las muestras del vidrio 5 (cristal superior con 30 % de PbO). La Lámina VII, B recoge los espectros de transmisión ultravioleta-visible del vidrio 5 original y tras los ensayos de envejecimiento en frío y en caliente. Puede observarse que el porcentaje de transmitancia del vidrio 5 original, inicialmente alrededor de un 80 %, disminuye aproximadamente al 30 % después del envejecimiento en caliente, y hasta 25 % tras el envejecimiento en frío. Para este vidrio el tratamiento acelerado de ataque con agua marina simulada ha sido más destructivo que para el vidrio 1 (silicato sódico-cálcico). Esto se explica porque en el vidrio cristal superior no sólo se puede extraer la sílice cuando se destruye la red vítrea por efecto del ataque en medio básico, sino que también se extrae con relativa facilidad el PbO que es el otro formador del retículo vítreo. La extracción del PbO es posible por la elevada basicidad del medio de ataque, debida a su alta concentración salina, y por el hecho de que los iones Pb^{2+} son anfóteros, como se ha indicado anteriormente, y forman plumbatos en medio básico.

La comparación de la resistencia química de los vidrios (clase hidrolítica en Tabla 1) con los resultados obtenidos en este estudio, puede aportar una información adicional sobre su comportamiento, en relación con su composición inicial. En principio cabe esperar que los vidrios cuya clase hidrolítica (parámetro que indica la mayor o menor resistencia del vidrio frente al ataque del agua) es más desfavorable, sean los que se deterioran más intensamente en un medio submarino. Por ejemplo, el vidrio 4, con el porcentaje más elevado de K_2O resultaría más vulnerable al ataque hidrolítico que los vidrios 1, 2, 3 y 5. Efectivamente, este punto queda confirmado, del mismo modo que el vidrio 2 (más rico en K_2O) es más atacable que el vidrio 1 (más estable por contener Na_2O y menor porcentaje de K_2O). Los vidrios cristal 3 y 5, con PbO, son más estables frente al ataque hidrolítico (clase 2 en Tabla 1); sin embargo, puesto que el medio marino simulado se va haciendo más básico a medida que transcurren los ciclos de envejecimiento, el ataque se produce por un mecanismo distinto (destrucción de la red vítrea y extracción de los iones Pb^{2+}), que prevalece frente al criterio de mayor atacabilidad hidrolítica cuanto mayor es el contenido de óxidos alcalinos del vidrio.

5. Discusión

Los resultados obtenidos confirman que la composición química del vidrio es uno de los factores más importantes a la hora de considerar su comportamiento frente a agresiones químicas externas. En general, los vidrios presentan signos de alteración superficial ya desde los primeros ciclos de envejecimiento acelerado. Dichas huellas de ataque químico (picaduras, cráteres, capa o costra de alteración, depósitos salinos, etc.) en algunos casos se intensifican y en otros se atenúan al aumentar el número de ciclos. Esto puede deberse a que en los vidrios más resistentes el ataque es más lento y los productos que se generan se van acumulando durante más tiempo en la superficie. Por otro lado, los vidrios más vulnerables se atacan rápidamente y forman capas gruesas de alteración que se van desprendiendo y dejan sucesivamente al descubierto el vidrio. A continuación el vidrio vuelve a atacarse rápidamente y se repite todo el proceso. De este modo el vidrio irá "disolviéndose" paulatinamente. Cuando el número de ciclos es suficientemente elevado, la velocidad de ataque puede disminuir, debido a la formación de la gruesa capa de alteración impregnada de sales que dificultaría la difusión del agua del baño, estableciéndose de este modo una situación estacionaria.

La influencia de la temperatura del baño salino también afecta de un modo importante a la textura de la capa de alteración. Por eso se puede observar, en general, que los vidrios envejecidos a -15°C presentan capas de alteración más gruesas que los tratados a 40°C . A -15°C las sales y otros productos de ataque son más insolubles que a 40°C y permanecen adheridos en las inmediaciones de la muestra, en su superficie o en la costra de alteración. A 40°C el ataque químico procede más rápidamente que a -15°C pero, sin embargo, la capa de alteración se disuelve más, con lo que es frecuente que las superficies de los vidrios envejecidos a 40°C aparezcan más "limpias" que las de los vidrios tratados a -15°C .

Un aspecto importante de los resultados obtenidos indica que el medio hidrolítico de ataque, inicialmente con un pH próximo a la neutralidad (pH~7,79), se altera en el transcurso de los ciclos de envejecimiento acelerado, convirtiéndose en un medio fuertemente agresivo para cualquier vidrio (FERNÁNDEZ NAVARRO, 1985; PAUL, 1982). Esto tiene lugar por varias razones: en primer lugar, el medio marino simulado tiene una concentración muy elevada de sales (9 veces más concentrada que el agua marina natural) y una vez iniciado el ataque al vidrio se produce un aumento progresivo del pH, por eso el deterioro que experimentan los vidrios debe considerarse la consecuencia de un ataque básico, no solamente hidrolítico; en segundo lugar, puesto que el ataque a los vidrios es muy intenso y rápido, de ellos se extraen cantidades relativamente grandes de iones alcalinos y alcalinotérreos que también contribuyen al aumento del pH del baño, lo cual acelera aún más la destrucción del retículo vítreo; y en tercer lugar, la capa de gel de sílice y/o las gruesas costras de sales formadas superficialmente se desprenden fácilmente dejando el vidrio desprotegido, lo cual favorece que todo el proceso vuelva a comenzar.

Un caso particularmente interesante es el de los vidrios 3 y 5 (cristal con 24% de PbO y cristal superior con 30% de PbO, respectivamente). Los vidrios cristal al plomo experimentan un proceso de deterioro muy intenso que se agudiza al aumentar el porcentaje de PbO. Cuanto mayor es el contenido de dicho óxido, se extrae mayor cantidad de iones Pb^{2+} del retículo vítreo que, seguramente, formarían plumbatos (COTTON y WILKINSON, 1973). El proceso puede explicarse del siguiente modo: en primer lugar, los iones Pb^{2+} extraídos podrían formar hidróxido de plomo que, en realidad, es un óxido hidratado no estequiométrico. Posteriormente, debido a la elevada concentración de sales del baño, pueden formarse sales de plomo o plumbatos que son solubles en el medio marino simulado después de los ciclos de envejecimiento, cuando el pH ha aumentado hasta valores básicos. De hecho los plumbatos de metales alcalinos como el sodio y el potasio (muy abundantes en el baño salino) son estables y podrían existir como tales, estabilizando así el plomo en la disolución (COTTON y WILKINSON, 1973).

La metodología utilizada ha sido adecuada para reproducir la situación del vidrio sometido a la acción del medio submarino natural. Se han podido obtener capas de alteración superficial semejantes a las recogidas en una botella del siglo XVIII procedente de los restos de un naufragio. La manipulación de los vidrios después de haber sido sometidos a los ciclos de envejecimiento fue complicada, ya que las capas de alteración se desprendían muy fácilmente, incluso antes de intentar limpiar las muestras con agua desionizada o de cortarlas para la realización de los diversos análisis efectuados en este trabajo. En primer lugar, sin duda, el ataque químico ha sido muy intenso, debido a la propia concentración y al pH del baño salino, y a la duración de los ensayos que fue muy prolongada (un total de 100 ciclos de 24 h cada uno). De este modo se ha alcanzado un grado de alteración química del vidrio que se podría equiparar con el experimentado por el vidrio histórico, del que proceden las escamas estudiadas, que estuvo aproximadamente 2 siglos sumergido en agua marina natural. A la vista de los resultados obtenidos, un tratamiento de 25 a 50 ciclos de envejecimiento acelerado en las condiciones ensayadas sería suficiente para provocar un deterioro químico similar al del vidrio histórico tras dos siglos de inmersión submarina. Esta estimación cualitativa se apunta solamente como una posibilidad, dado que no se ha podido comprobar si un vidrio sometido a la acción marina natural durante períodos de tiempo menores que dos siglos se deteriora más, menos o igual que la muestra histórica a la que se ha podido acceder. Esto es, es posible que los vidrios sufran procesos recurrentes de deterioro: ataque a la superficie desprotegida, formación de capa de alteración, desprendimiento de dicha capa, ataque a la superficie desprotegida, formación de capa de alteración, desprendimiento de dicha capa, etc. En este caso no sería posible saber cuántos ciclos de degradación ha sufrido la muestra. Por otra parte, lo mismo podría decirse de los vidrios ensayados en el presente trabajo. Realmente no se tiene la certeza de que los vidrios estudiados aquí, tras los ensayos de envejecimiento acelerado, hayan sufrido 1, 2 ó más ciclos completos de deterioro, ya que seguirían el mismo esquema

de procesos recurrentes de ataque que los vidrios sometidos al medio marino natural.

Si el proceso de deterioro del vidrio en medios submarinos se ajusta al modelo de ataques recurrentes, es posible que los vidrios de menor resistencia química que se encuentran entre los restos de los naufragios, hayan experimentado procesos de alteración muy intensos con considerables pérdidas de masa. Un estudio más detallado del comportamiento del vidrio en medios submarinos naturales o simulados requeriría tener en cuenta una serie de parámetros que probablemente afectarían de modo variable a los resultados. Entre ellos cabe citar el efecto de la presión y profundidad de inmersión, la composición y grado de contaminación del agua marina, la existencia de corrientes o agitación durante los ensayos de laboratorio, los ciclos térmicos día-noche y el efecto sinérgico de microorganismos y otros seres vivos.

6. Conclusiones

Los vidrios sometidos a medios submarinos simulados experimentan un proceso de deterioro, posiblemente recurrente, que provoca la extracción de iones alcalinos, en una primera etapa en medio neutro. Posteriormente, cuando el pH del medio aumenta, como consecuencia del ataque hidrolítico, se produce la destrucción del retículo vítreo, siguiendo un mecanismo de ataque en medio básico, con pérdida de óxidos formadores (SiO_2 , PbO). Cuanto mayor es el contenido de PbO de los vidrios, mayor es la extracción de dicho óxido, ya que es posible la estabilización de los iones Pb^{2+} como plumbatos en el medio acuoso a pH básico.

El proceso de deterioro origina la formación de picaduras circulares más o menos interconectadas. Las capas o costras de alteración constituidas por gel de sílice y otras sales acumuladas de magnesio, calcio, etc. presentan baja adherencia y muy frecuentemente aparecen agrietadas, despegadas o desprendidas del vidrio.

El comportamiento de los distintos vidrios estudiados en los ensayos de resistencia química en medio submarino simulado es paralelo al que presentan cuando se someten a otros medios agresivos (humedad, aire contaminado, suelos y tierras, etc.) El procedimiento de envejecimiento acelerado y la simulación de condiciones naturales es una metodología adecuada para la caracterización del proceso de deterioro y sus consecuencias en vidrios de silicatos sódico-cálcico y potásico-cálcico, y de vidrio cristal al plomo.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Prof. Dr. José M^a Fernández Navarro sus comentarios sobre los resultados; a D. Andrés Velasco Pilar su colaboración técnica desinteresada; a la Dra. Paloma Pastor Rey de Viñas la cesión de la muestra de vidrio histórico y a D. Cecilio Pajas Crespo las determinaciones de pH. Los Dres. García Heras y Villegas Broncano agradecen el apoyo de la Red Temática de Patrimonio Histórico y Cultural del CSIC y la financiación de un contrato postdoctoral I3P (FSE-CSIC).

Bibliografía

- AHMED, A.A., YOUSSEF, I.M., ABBAS, A.F. y ABOU ELEINEN, O. (1998): "Inhibition of Pb-leaching from lead crystal glass by coating with films prepared by the sol-gel method", *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 13, 753-756.
- ARRIBAS JIMENO, S. (1978): *Análisis cualitativo inorgánico*, 2^a Ed., Oviedo.
- BIMSON, M. y FREESTONE, I. (eds.) (1987): *Early vitreous materials, British Museum Occasional Paper 56*, British Museum, Londres.
- BRILL, R. (1999): *Chemical analyses of early glasses, The Corning Museum of Glass*, 2 Vols., Corning, Nueva York.
- CARMONA TEJERO, N. (2002): *Estudio de los procesos de alteración de vidrieras históricas y de los tratamientos para su restauración y protección*, Tesis Doctoral inédita, Universidad de Valladolid, Valladolid.
- CIFUENTES LEMUS, J.L., TORRES GARCÍA, M^a P. y FRÍAS, M. (1986): *El Océano y sus recursos. II-Las Ciencias del Mar: Oceanografía Geológica y Oceanografía Química*, Fondo de Cultura Económica, México.
- COTTON, F.A. y WILKINSON, G. (1973): *Química inorgánica avanzada*, Ed. Limusa-Wiley S.A., México.
- FERNÁNDEZ NAVARRO, J. M^a (1985): *El vidrio*, CSIC, Madrid.
- FERNÁNDEZ NAVARRO, J. M^a (2000): "Causas del deterioro físico y químico de los vidrios históricos", *Jornadas Nacionales sobre Restauración y Conservación de Vidrios* (J. M^a Fernández Navarro y P. Pastor Rey de Viñas Eds.), La Granja de San Ildefonso (Segovia), 17-37.
- GARCÍA HERAS, M., GIL PUENTE, C., CARMONA TEJERO, N. y VILLEGAS BRONCANO, M.A. (2003): "Efectos de la meteorización sobre los materiales de las vidrieras históricas", *Materiales de Construcción* 53 (270), 21-34.
- GARCÍA HERAS, M., CARMONA TEJERO, N., GIL PUENTE, C. y VILLEGAS BRONCANO, M.A. (aceptado, en prensa): "Estudio analítico de la araña de la Capilla Palafox (Catedral de Burgo de Osma, Soria)", *Actas del III Congreso Internacional "Restaurar la Memoria"*, AR&PA 2002, Valladolid.
- HARTMANN, G., KAPPEL, I., GROTE, K. y ARNDT, B. (1997): "Chemistry and technology of prehistoric glass from Lower Saxony and Hesse", *Journal of Archaeological Science* 24 (6), 547-559.
- LILYQUIST, C. y BRILL, R. (1993): *Studies in early Egyptian glass*, Metropolitan Museum of Art, Nueva York.
- McCRAE, P. y KINGERY, D. (Eds.) (1998): *The Prehistory and History of glassmaking technology, Ceramics and Civilization 8*, American Ceramic Society, Westerville, Ohio.
- MÜLLER, W. (1992): "Corrosion phenomena of Medieval stained glasses",

Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio 31-C (1), 219-239.

NEWTON, R.G. y DAVISON, S. (1989): *Conservation of glass*, Butterworth-Heinemann, Oxford.

NEWTON, R.G. y PAUL, A. (1980): "A new approach to predicting the durability of glasses from their chemical compositions", *Glass Technology* 21 (6), 307-309.

PAUL, A. (1982): *Chemistry of glasses*, Chapman and Hall, Londres.

VILLEGAS BRONCANO, M.A. y GARCÍA HERAS, M. (2002): "El Patrimonio Vidriero. Técnicas de estudio", *Técnicas Instrumentales y su aplicación al Estudio del Patrimonio Histórico y Cultural* (P. SÁNCHEZ SOTO y A. RUIZ CONDE Eds.), Sevilla, 29-42.

**MOLDEADOS Y REPRODUCCIONES.
PROBLEMÁTICA BAJO EL AGUA**

Luis Carlos ZAMBRANO VALDIVIA
Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. Centro de Arqueología Subacuática
Avda. Duque de Nájera 3 -Balneario de la Palma- 11071 Cádiz
luis.zambrano@juntadeandalucia.es

La técnica del moldeo aplicada a la arqueología

El moldeo arqueológico es uno de los múltiples recursos instrumentales adecuados para abordar la preservación, el conocimiento y la difusión del Patrimonio Cultural.

Esta "herramienta", de uso extendido en la paleoantropología tradicional (BLACK, 2003), emerge de forma paralela al "anticuarismo" positivista del siglo XIX, diferenciado del simple coleccionismo por su pretendido afán de conocimiento histórico, que la emplea como apoyo del dibujo en el registro exhaustivo de los objetos recuperados (OLMOS ROMERA, 1999). Esta solución técnica adquiere un gran predicamento entre los precursores de la moderna arqueología (BLANCO GARCÍA, 2003), que hallan en la "reproducción artística" así denominada por J. Ramón Mérida en su informe *Viaje a Grecia y Turquía*, un eficaz instrumento en "la formación de los artistas y estudiosos en general". Un extracto de dicho documento extraído del informe "Un viaje a Grecia que cambió el rumbo de la arqueología en España", de R.M. Blanco García (2003), incluido en el Proyecto de recopilación sistemática de fondos documentales de museos -Universidad Complutense de Madrid-, se muestra a continuación:



Ensayos de moldeo sobre restos lígneos pertenecientes a una estructura naval de época moderna

"Si se considera que lo más importante del arte antiguo es la escultura, muy fácil se ofrece la tarea de suplir con vaciados de obras de primer orden, muchas de ellas únicas, las deficiencias de nuestras colecciones. Ante la calidad y el considerable número de piezas acumuladas en los descritos Museos, esas deficiencias resultaran mucho mayores. Si nos fijamos en nuestro Museo de Reproducciones Artísticas, que es el llamado a recibir tan valiosos aumentos que permitirán estudiar directamente en Madrid el proceso del arte anti-

guo, las colecciones existentes nos ofrecen muy pocas obras de los museos de Grecia."

Las palabras de Mérida son elocuentes acerca de lo dicho; el potencial formativo y documental del "vaciado artístico" sustentado sobre una concepción caduca y restrictiva del Patrimonio Cultural que se interesa por el objeto desprovisto de su contexto. No obstante, es oportuna la cita de este documento debido a su carácter precursor del moldeo con finalidad arqueológica en nuestro país.

Otras referencias a esta cuestión en los inicios de la arqueología peninsular van siempre asociadas al nombre de José Ramón Mérida, director del Museo Nacional de Reproducciones Artísticas creado en 1877 por iniciativa del entonces Presidente de Gobierno, D. Antonio Canovas del Castillo, a imitación de otros centros europeos ya existentes con una finalidad didáctica para la enseñanza y el disfrute del arte.

Mención expresa, por lo anecdótico, requiere la presentación de los moldes en yeso de la serie de esculturas "ibéricas" del Cerro de los Santos en la planta principal del Pabellón español en la exposición Universal de Viena de 1873. El fiasco de la sospechada falsificación, no disminuye la trascendencia del hecho que supone llevar como evidencia absoluta del "formidable" hallazgo, a falta de los originales, una copia exacta de la citadas esculturas.

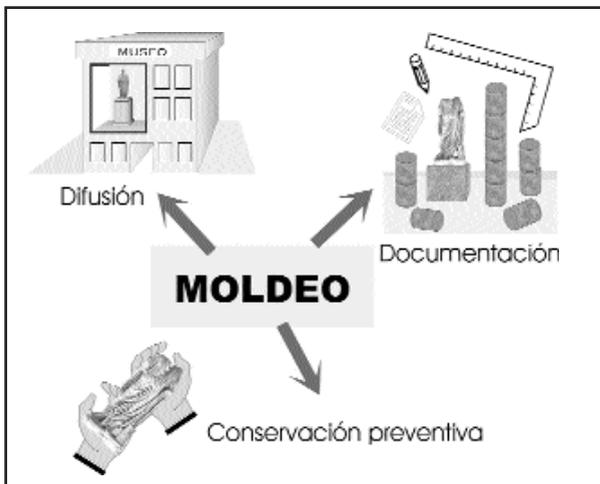
Asimismo, otras lecturas de lo ocurrido son posibles, aunque por motivos profesionales prefiera subrayar el acierto de evitar los riesgos de un azaroso traslado para cualquier objeto antiguo.

Esta cuestión, de enorme actualidad por la reticencia de los museos al préstamo de obras "frágiles", se vincula al interés instrumental del moldeo en la conservación del patrimonio. Este es el tercero de los ámbitos, junto

con el registro documental y la interpretación museológica, donde el moldeo tiene utilidad.

En este sentido, el molde constituye una herramienta eficaz en la recuperación de objetos debilitados durante la excavación arqueológica, funcionando como un soporte fijado al material con riesgo de fragmentación que de esta forma se mantiene compactado de forma reversible.

Otra aplicación del molde arqueológico vincula directamente los tres ámbitos señalados; investigación, conservación y difusión. Se trata de la



El moldeo tiene tres campos de aplicación dentro del patrimonio arqueológico: la difusión, la documentación y la conservación preventiva

conservación integral del patrimonio, recomendada expresamente por la UNESCO en su Carta para la Protección y Gestión del Patrimonio Arqueológico –ICOMOS (1990). En ella, se invita explícitamente a "conservar *in situ* monumentos y sitios" como "el objetivo fundamental de la conservación del patrimonio arqueológico". En este sentido, se estimulan los métodos de intervención "no destructivos", concediendo especial importancia a los inventarios como "instrumentos de trabajo esenciales para elaborar estrategias de protección del patrimonio arqueológico".

Ya con carácter específico, "La Convención sobre la Protección del Patrimonio Cultural Subacuático-UNESCO" de París (2001), ratificada por España, se reafirma en la idea de la conservación *in situ* como "la opción prioritaria para proteger el patrimonio cultural subacuático", cuyo acceso público debe ser fomentado siempre que no interfiera con la protección y gestión del sitio arqueológico. Asimismo, establece que "las actividades dirigidas al patrimonio cultural subacuático deberán servirse de técnicas y métodos de exploración no destructivos, que deberán preferirse a la extracción de objetos".

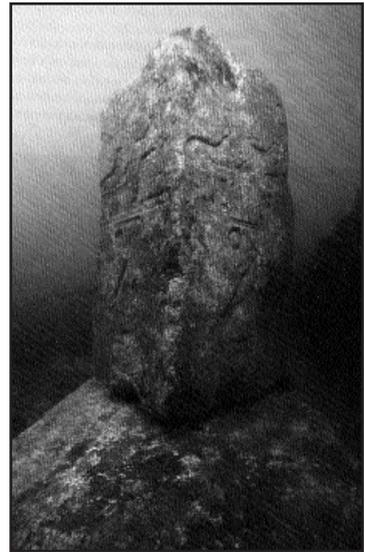
En la filosofía de este convenio se manifiesta una idea de conservación en apariencia opuesta a la investigación científica. Sin embargo, el énfasis en la conservación, lejos de ser un freno al conocimiento, es un estímulo al desarrollo de nuevas técnicas de investigación compatibles con la preservación y la participación social.

La reproducción tridimensional -el moldeado subacuático- es una de esas técnicas que contribuyen a mejorar el conocimiento científico sin perjuicio de la conservación, al tiempo que aporta soluciones eficaces para la interpretación del patrimonio. Dos muestras de esta aplicación se recogen entre las cinco actuaciones modélicas que señala la UNESCO en su documento "Summary" (UNESCO, 2002: 10).

Ejemplos recientes de excavaciones exitosas:

- El Red Bay Project en Labrador, Canadá, donde los científicos realizaron la excavación de tres barcos y cuatro pequeñas barcas balleneras vascas del siglo XVI que fueron objeto de un meticuloso registro arqueológico donde participaron los conservadores del Parks Canada, L. D. Murdock y T. Daley, a través de un molde subacuático -1 m x 3,5 m- sobre los restos del *San Juan*, hundido a 10 m de profundidad.

- El Faro de Alejandría en Egipto, sumergido a causa de una serie de terremotos en el siglo XIV, es objeto de una misión arqueológica que ha clasificado alrededor de 3.000 elementos arquitectónicos y ornamentales pertene-



Obelisco de Sethi I, Faro de Alejandría. Fotografía de Stéphane Compint/Sygma, en EMPEREUR, J-Y: 2000

cientes a distintos periodos –faraónico, ptolemaico y romano. Ante la trascendencia y magnitud del hallazgo, se ha planteado la posibilidad de crear un parque arqueológico subacuático. Algunas piezas e inscripciones se han registrado mediante moldes *in situ* como complemento de la documentación arqueológica.

Actualmente, tras la positiva experiencia acumulada en numerosas actuaciones, la técnica del moldeo subacuático constituye un *corpus* metodológico aplicable por el conservador-restaurador de "campo". Este técnico precisa, no obstante, un buen conocimiento tanto de los materiales arqueológicos y su alteración físico-química, como de las materias plásticas de moldeo y sus utensilios de manipulación. A este conocimiento teórico del material –objeto arqueológico- y las "herramientas" -materia plástica- hay que añadir la destreza necesaria para su combinación en el medio subacuático.

Si a las dificultades propias del moldeo en la arqueología "terrestre" -infraestructura excesiva, adherencia del producto, acondicionamiento del sustrato, riesgo de desmembración...- añadimos el factor de la saturación hídrica con todas las implicaciones de orden físico-químico -presión, densidad, temperatura, iluminación, corrientes, pH, salinidad...-, resulta fácil comprender la complejidad de esta tarea en el medio subacuático. Todo ello, aún cuando se da por sentada la desenvoltura propia del individuo en un sistema adverso al ser humano donde se requiere la participación de aparatosos equipos para remediar las diversas limitaciones impuestas por el medio: comunicación, desplazamiento, visión, control de la permanencia y profundidad, flotación, compensación calórica y especialmente, la respiración.

Sin embargo, y a pesar de la evidente dificultad que se plantea en el desarrollo de esta técnica, actualmente, el moldeo subacuático puede considerarse como un recurso eficaz en la gestión del patrimonio arqueológico sumergido que da respuesta a los requerimientos de conservación, investigación y difusión de los bienes culturales.

No obstante, tratándose de un procedimiento que implica la participación de productos y herramientas, el moldeo está sujeto a una continua evolución metodológica favorecida por la diversificación de marcas y compuestos en la industria del plástico. Así, se amplía la oferta de productos multiplicando las posibilidades de aplicación que pueden resultar específicas a los requerimientos planteados por el sinfín de situaciones probables en un sitio arqueológico: arquitectura naval de época antigua, estructuras portuarias, grandes objetos de metal concrecionado, edificaciones y estatuaria sumergida.

Mejorando la experiencia *in situ* de nuevos productos se aumenta el número de soluciones aplicables a cada circunstancia; con siliconas muy fluidas para el registro en detalle, aditivos tixotropantes para sustratos verticales, epoxi auto-desmoldeante con funciones estructurales, poliéster modificado como nivelante y soportes rígidos, poli-sulfuro de caucho para impresiones ordinarias, masillas protectoras para la pasivación metálica, etc.

En este sentido, cada ensayo de moldeo con materias plásticas en el medio acuático aporta un conocimiento útil en la optimización de esta herramienta

que debe seguir alimentándose con la experimentación práctica sobre los sitios arqueológicos sumergidos. Apoyando este juicio se ilustrará el presente artículo con el comentario de una serie de actuaciones de moldeo subacuático realizadas sobre diferentes sitios arqueológicos. Desde la experiencia del *Wet Sites Conservation Laboratory* (MURDOCK y DALEY, 1981: 337-342) sobre el ballenero vasco *San Juan*, hasta el sistema combinado de moldeo subacuático (ZAMBRANO VALDIVIA, 1995: 2-20; ZAMBRANO VALDIVIA, 2000: 175-182), empleado en el Barco I de Mazarrón y que supone el molde subacuático de mayores dimensiones realizado hasta la fecha.

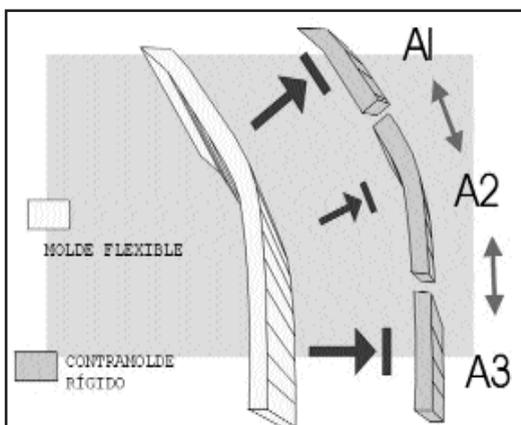
Molde flexible y soporte rígido

El molde a escala 1/1 es un registro tridimensional de los objetos sumergidos que complementa eficazmente el trabajo convencional de documentación *in situ* realizado mediante dibujo y fotografía, pudiendo de este modo completarse un estudio muy preciso de los objetos sin necesidad de ser extraídos.

Esta utilidad del molde permite avanzar en preservación integral del patrimonio arqueológico subacuático sin menoscabo de fomentar el disfrute extensivo de los bienes a través de réplicas exactas incorporadas a los programas museológicos y de interpretación patrimonial (MORALES MIRANDA, 2000: 276).

Además, el molde supone un sistema de fijación excelente para la recuperación de objetos muy debilitados con un riesgo potencial de fractura y desmembración durante su traslado a la superficie.

El proceso de moldeo tradicional consta de dos fases perfectamente definidas: el moldeo flexible y el soporte rígido. Ambas son complementarias y se hacen en el orden expresado: 1, molde flexible y 2, soporte o contra-molde rígido. El primero registra o reproduce todos los detalles del objeto. Crea una copia en "negativo" del original. Al ser flexible puede extraerse con facilidad sin alterar el soporte y las copias. Por esta cualidad, el molde necesita la participación del soporte rígido para conservar la forma del objeto. El soporte se realiza de un modo independiente sobre la cara no registrada del molde y su función es mejorar los resultados del primero aportando un sustento estructural al registro flexible.



Descripción gráfica del molde flexible y el contra-molde rígido. Este último debe generalmente fraccionarse para facilitar su extracción.

Antecedentes

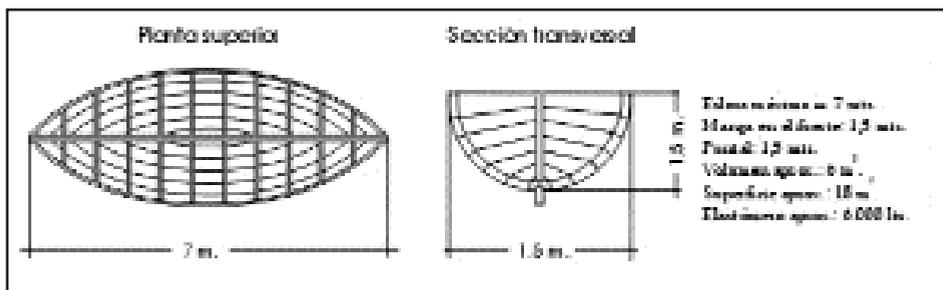
Los primeros ensayos destacados para obtener moldes flexibles subacuáticos son obra de L. Murdock y T. Daley del *Wet Sites Conservation Laboratory* de Canadá (L. MURDOCK y T. DALEY, 1981: 337-342). Estos conservadores emplearon un caucho de polisulfuro como agente de moldeo subacuático. Este producto es un elastómero bicomponente (FMC-301®, SMOOTH-ON INC.) que cura en presencia de humedad cuyo uso está muy extendido en el ámbito anglosajón.

En ensayos previos de laboratorio, emplearon el elastómero fluido aplicado en "colada" sobre modelos de tamaño reducido planteando el moldeo de volúmenes exentos (un cilindro) y espacios huecos (una grieta). Los registros o reproducciones fueron buenos pero sin control directo en la aplicación del elastómero. La ausencia de control se debe a que el caucho de polisulfuro es un fluido más denso que el agua y tiende a ocupar los espacios inferiores. En la práctica, el caucho fluido resbala por la superficie del objeto a reproducir. Para retener al fluido es necesario encerrarlo entorno al modelo con algún sistema de contención.

La confección de un dique de contención propuesto por Murdock y Daley planteaba innumerables problemas técnicos añadidos. Básicamente, se condiciona la viabilidad del molde subacuático a la posibilidad de crear un dique contenedor del producto en estado fluido. El moldeo de una gran superficie (3-4 m²) hace inviable el procedimiento de colada aplicado en el laboratorio por M.-D. El sistema obliga a rellenar con elastómero el espacio comprendido entre las cotas mayor y menor de la superficie a reproducir. Por este motivo, en superficies muy accidentadas, se llega a un enorme consumo de material siguiendo dicho procedimiento.

El siguiente caso sirve para ejemplificar gráficamente los diferentes sistemas que se plantean.

Para reproducir el casco interior de un barco de 7 m de eslora total y 1,5 m de manga en el medio con una diferencia de cotas entre la línea de borda y el ensamble de la quilla de 1,5 metros, tenemos un volumen interior aproximado de 6 m³. La superficie a reproducir es de 18 m² y se necesitarían por tanto unos 6.000 litros de elastómero. La descripción esquemática de la técnica se puede ver en la siguiente lámina.



Dibujo esquemático de un modelo de embarcación para ejemplificar el proceso de reproducción subacuática

Otra solución técnica diferente fue planteada por los mismos conservadores del Parks Canada en 1983 (DALEY y MURDOCK, 1984: 1-5) sobre los restos del ballenero vasco *San Juan*, hundido en 1565 frente a la costa de Canadá. Se trata del sistema que se ha denominado "en compresión" debido al procedimiento de aplicación del caucho para el moldeo. Básicamente se trata de embadurnar un trozo de tejido con el elastómero y posteriormente aplicarlo sobre la superficie a reproducir. El operador presiona la compresa de tejido y caucho sobre el modelo obteniendo un mayor control sobre el proceso de moldeo.

Con el "sistema de compresión" se aumenta notablemente el control de aplicación y se reduce el gasto de material aunque presenta graves inconvenientes metodológicos:

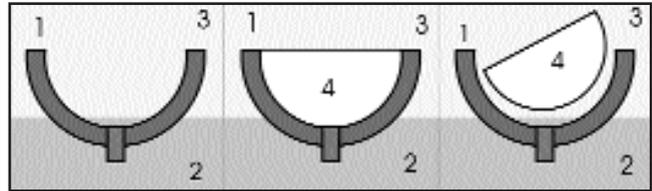
- El caucho resulta muy adherente y el traslado de la compresa hasta el punto de aplicación requiere la utilización de complicados artilugios de transporte como bastidores o bandejas de aprehensión.

- La adaptación de la compresa al sustrato del modelo no es buena cuando la superficie es accidentada. El tejido carece de plasticidad para adaptarse y el operador no controla visualmente el grosor del molde que aplica.

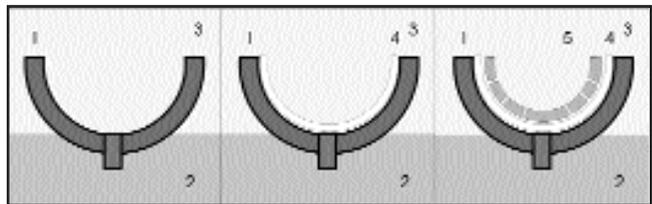
- El molde resultante presenta zonas con registro insuficiente, puntos de adelgazamiento o ausencia total de elastómero.

Otras variaciones de los sistemas de "colada" y "compresión" han sido empleados en diferentes ocasiones con limitada eficacia. G. Brocot (DAVID y DESCLAUX, 1988: 315) en el Centro de Investigaciones Arqueológicas Submarinas de Francia en 1987, ha utilizado elastómeros de silicona RTV –Room Temperature Vulcanization– con los ya conocidos métodos de "colada" y "compresión". Estos ensayos no ofrecen ventajas destacables sobre el sistema original de M. & D., ya que mantienen el planteamiento básico de operatividad con la variante del material de moldeo, elastómero de silicona por poly-sulfuro de caucho.

Una aportación interesante de Brocot (1988: 315) ha sido la experimentación con resinas de poliéster en la fabricación de contra-moldes. Para la



Lám. 1: Simulación gráfica del proceso de reproducción por colada interior sobre una estructura cerrada. 1. estructura a reproducir, 2. lecho de arena, 3. agua circundante, 4. molde interior



Lám. 2: Simulación gráfica del proceso de reproducción mediante compresión sobre una estructura cerrada. 1. estructura a reproducir, 2. lecho de arena, 3. agua circundante, 4. molde interior de silicona sobre tejido y 5. contra-molde rígido

obtención de soportes rígidos subacuáticos se había venido empleando regularmente la escayola que se prepara en superficie del modo convencional y se transporta bajo el agua hasta el lugar de aplicación. Sin embargo, este material presenta una serie de inconvenientes que lo hacen desaconsejable, a saber:

- El transporte y manipulación subacuática genera una molesta nube blanquecina de polvo en suspensión que dificulta la visibilidad subacuática ya reducida por las características del medio.

- Se aplica en estado fluido con problemas de manipulación similares a los descritos para los productos de moldeo flexible aunque no existe la posibilidad de aplicación en compresión.

- La escayola fraguada bajo agua no endurece por completo. El producto resultante es blando y escasamente homogéneo.

- Se precisa un grosor muy elevado en relación a la superficie para garantizar la firmeza del soporte. Por ejemplo, un soporte rígido fabricado en escayola para una superficie de 1 m² precisa un grosor aproximado de 30 a 40 cm, lo que supone un gasto de 30 a 40 l de escayola líquida.

- El peso de la escayola endurecida junto al gran volumen necesario hacen del soporte rígido de escayola un elemento de costosa manipulación dentro y fuera del agua.

- La escayola debe reforzarse en su aplicación subacuática para el reparo homogéneo de tensiones y aumento de resistencia.

Para obviar estos inconvenientes Brocot (1988: 315) ensayó los soportes rígidos sobre moldes subacuáticos en resina de poliéster con resultados dispares que no obstante abrieron una provechosa vía de investigación.

Sistema combinado con silicona y resina de poliéster

Con el fin de optimizar la fabricación de moldes subacuáticos respecto a los sistemas conocidos se vino trabajando en distintos proyectos participados por el Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Subacuáticas para el desarrollo de un nuevo procedimiento que aportase ventajas sobre los anteriores (2000: 175-182). La novedad del procedimiento finalmente obtenido, reside en el sistema de aplicación de los productos empleados, elastómero de silicona RTV y resina de poliéster. Así como en la combinación específica de los mismos.

Frente a los anteriores métodos de aplicación en "colada" -producto fluido- o en "compresión" -producto estratificado- aquí se propone un sistema de aplicación controlada que a partir de ahora se llamará en "adición".

Los productos usados para la obtención del molde flexible son: un elastómero de silicona tipo RTV, un catalizador de silicato de etilo como agente de curado y un aditivo tixotrópico convencional.

Este producto pueden usarse con distintos tipos de catalizadores de silicato de etilo en función del tiempo de curado que se estime adecuado. El tipo "estándar" tiene un tiempo de curado máximo de hasta 24 horas. Además,

existe un catalizador "rápido" con un tiempo de curado entre 3 y 4 horas y un catalizador "muy rápido" efectivo entre 1 y 2 horas. La elección del catalizador se efectúa en previsión del "tiempo de manipulación" necesario para aplicar el producto sobre el sustrato. Siempre que el tiempo de curado no sea un condicionante inexcusable del trabajo se recomienda usar el agente de curado tipo "estándar" ya que se obtiene mejor calidad en el registro.

Mientras tanto, el soporte rígido se prepara a base de resina de poliéster modificada con cargas inorgánicas. Se aplica sobre el molde de silicona ya curado adaptándose a la superficie exterior del mismo.

Los productos empleados para la obtención de la masilla de poliéster para uso subacuático son: una resina de poliéster tixotrópica y preacelerada como base, sílice coloidal pirogenada como carga, y peróxido de metiletilcetona como catalizador de la reacción.

Elaboración del molde flexible

El método de preparación de la masilla para fabricar el molde flexible es el siguiente:

1. Se mezcla la base del elastómero de silicona con el agente de curado en la proporción de 3 a 5% en volumen de este respecto de la silicona.

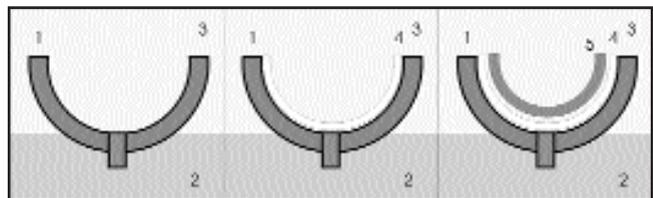
2. Se baten energicamente los dos productos durante 3 minutos hasta obtener una mezcla homogénea.

3. Se añade el aditivo tixotrópico en proporción de 10% en volumen sobre el volumen inicial de la base de silicona.

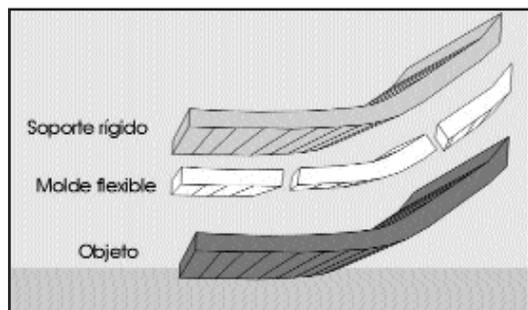
4. Se bate energicamente la mezcla durante 3 minutos hasta lograr una masa densa que no descuelgue en posición vertical.

La masilla así preparada está lista para su aplicación inmediata. Recién preparada tiene un "tiempo de trabajo óptimo" de 35 minutos aproximadamente para su empleo dentro del agua. Debe evitarse el contacto con el producto fuera del agua por ser muy adherente y difícil de eliminar hasta su completo curado.

Todos los productos usados en la mezcla son sensibles a la



Lám. 3: Simulación gráfica del proceso de reproducción mediante el "sistema combinado" sobre una estructura cerrada. 1. estructura a reproducir, 2. lecho de arena, 3. agua circundante, 4. molde interior de silicona y 5. contramolde rígido modular



Esquema de fabricación del molde subacuático



Preparación del objeto, con un pincel se retira la arena y cualquier otro producto que no interese reproducir

humedad por lo que deben extremarse el cuidado en evitar el agua ante el riesgo de inhibición.

La aplicación del producto se realiza del siguiente modo:

1. Se introduce el recipiente con la masilla dentro del agua.

2. Se toma con la mano una pella de silicona para aplicarla con una ligera presión sobre la superficie del objeto a reproducir cubriendo toda la extensión deseada.

3. Se espera hasta un máximo de 24 horas para lograr el curado completo de la silicona.

Deben tenerse en cuenta las siguientes advertencias:

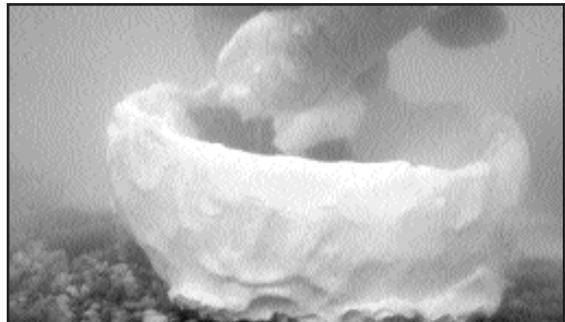
1. La calidad de registro obtenida con la silicona aplicada tras el "tiempo óptimo de trabajo" disminuye proporcionalmente al tiempo de sobrepaso.

2. Superando excesivamente el "tiempo óptimo de trabajo" la silicona deja de ser manipulable.

3. El molde obtenido es tanto más flexible cuanto menor sea el grosor de la capa de silicona aplicada.

4. La adición manual de silicona permite el ahorro de producto y una capa excesivamente gruesa no mejora la calidad del registro.

5. En zonas complicadas (detalles minuciosos y pequeñas cavidades) debe insistirse con ligeras presiones digitales para lograr una mejor adaptación del producto.



Las pequeñas pellas del producto se ligan sin dificultad hasta formar una sola capa sobre la superficie del objeto cuyo grosor depende de la extensión del molde

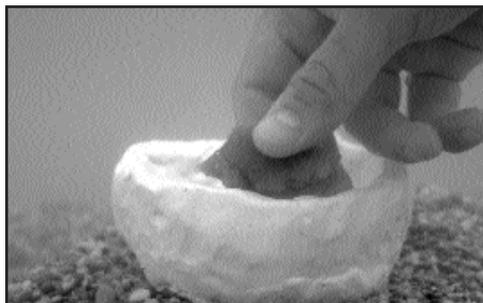
La masilla de silicona se adapta manualmente sobre el sustrato con una ligera presión que mejora la calidad del registro y posibilita la retención física del producto desprovisto de su facultad adherente

Elaboración del soporte rígido

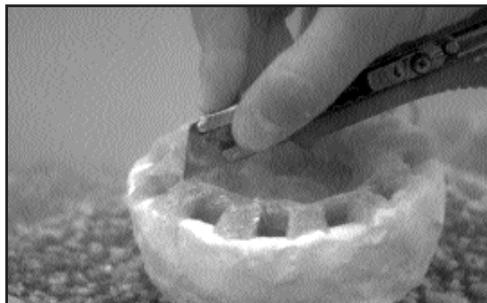
El método de preparación de la masilla de poliéster para la obtención del soporte rígido es el siguiente:

1. Se mezcla la resina de poliéster tixotrópica con sílice coloidal en polvo en proporción volumétrica 1:2 (1 vol. de resina x 2 vol. de sílice).
2. Se agita enérgicamente la mezcla hasta obtener una masilla de aspecto untuoso.
3. Se mezcla la masa obtenida con el peróxido de metiletilcetona en proporción de 4 % en volumen de éste con respecto a la masa agitando enérgicamente hasta lograr un reparto homogéneo.

La masilla obtenida según este procedimiento permite un rápido fraguado. Puede aplicarse manualmente. Presenta unas buenas condiciones de dureza y consistencia post-curado. Ofrece un buen rendimiento y un bajo coste económico. Es necesario proteger la piel, los ojos y las vías respiratorias cuando se manipulan los componentes de la masilla de poliéster. Recién preparada tiene un "tiempo óptimo de trabajo" de 15 minutos para su empleo dentro del agua.



El procedimiento de fabricación del soporte rígido se diferencia del anterior en el material base-resina de poliéster- y el trabajo de mecanizado necesario para su extracción



Inicialmente se crea un módulo base practicando cajas de ensamblaje sobre la resina en fase de gel consistente para ser cortado con la intervención de un cutter

La aplicación de la resina de poliéster para el soporte rígido se realiza del siguiente modo:

1. Se introduce el recipiente con la masilla dentro del agua.
2. Se toma con la mano una pella de masilla para aplicarla manualmente.
3. Se reparte la masilla modelando según las necesidades del trabajo.
4. Se espera hasta un máximo de 15 horas para garantizar un endurecimiento completo del producto. Al cabo de una hora ha adquirido aproximadamente el 75 % de la consistencia final.

Deben tenerse en cuenta las siguientes advertencias:

1. Si se sobrepasa el "tiempo óptimo de trabajo", 15 minutos, la masilla deja de ser manipulable.

2. La manipulación por encima del tiempo recomendado, 15 minutos, merma las características de resistencia del producto terminado.



Operación de volteo para la extracción del objeto sin riesgo de alteración física

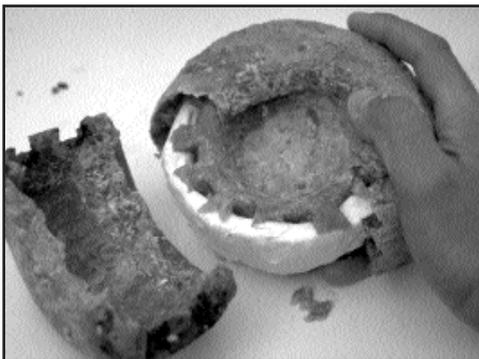
3. Los tiempos señalados en la preparación del soporte rígido y el molde flexible son indicativos y aproximados. Se basan en experiencias de laboratorio y campo realizadas en condiciones particulares. Consecuentemente, los tiempos pueden verse afectados por la variación en las condiciones del medio o cualquier alteración sustancial del método de trabajo establecido.

Una vez completados el molde flexible y el soporte rígido se procede a su extracción y posterior montaje. Para la reproducción del objeto moldeado existen infinidad de productos en el mercado.

En el caso de la madera es muy aconsejable el empleo de resinas epoxy con cargas celulósicas. En el proceso de reproducción o "positivado" el molde flexible y el soporte rígido forman una sola unidad donde el primero aporta la precisión del detalle y el segundo mantiene la forma del objeto sumergido.

El sistema de moldeo aquí descrito constituye un resumen de la técnica empleada en el Barco I de Mazarrón excavado en la primavera de 1995 dentro del "Proyecto Nave Fenicia".

A continuación se detallan dos actuaciones arqueológicas realizadas dentro del "Proyecto Nave Fenicia", donde se ha experimentado esta técnica de moldeo subacuático. La ejemplificación de estos procesos pretende exponer un modelo general o forma de intervención utilizable en situaciones simila-



El desmontaje del contramolde se realiza en orden inverso a su fabricación



La impresión del original permanece en la cara interna del molde de silicona cuya flexibilidad le permite extraerse sin daño para el objeto

res más que hacer una descripción pormenorizada de la experiencia. No obstante, el texto se acompaña de referencias visuales para facilitar la comprensión de la técnica.

Moldeo de una estructura naval, "el Barco Fenicio I de Mazarrón"

La demostración práctica del moldeo subacuático sobre una estructura de grandes dimensiones se ha verificado sobre los restos del 1^{er} barco fenicio excavado en la Playa de la Isla de Mazarrón –Murcia- por el Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas.

A continuación, se describe la preparación subacuática del molde flexible y el soporte rígido del casco interior de este barco sumergido a 3 metros de profundidad.

Para la planificación correcta del trabajo debe realizarse un cálculo muy aproximado de los materiales necesarios en la ejecución del proyecto. En la preparación del molde flexible se considera suficiente un espesor de 2 cm.

Como se trabaja por etapas, formando el molde por la conjunción de diversos módulos que permiten mantenerse en el "tiempo óptimo de trabajo", debe contemplarse aproximadamente un consumo de masilla del 10% por encima de la estrictamente necesaria para la superficie calculada.

En este proyecto se precisan 20 litros de elastómero por cada metro cuadrado de superficie. De lo cual se deduce un gasto de 360 litros para la superficie y 36 litros para el solapamiento de los módulos. El consumo total aproximado de elastómero de silicona para el molde flexible es, pues, de 396 litros.

En la preparación del soporte rígido, el espesor del soporte adecuado es de 3 centímetros. Cada metro de superficie a cubrir requiere 30 litros de masilla de poliéster. Para construir un sistema modular hay que añadir un 10% más de la masilla total de superficie. Con ello obtenemos los siguientes números: 540 litros de masilla de poliéster y 54 litros para el solapamiento de módulos. Esto hace un total de 594 litros de consumo de masilla de poliéster.



La silicona se toma desde los recipientes donde se ha transportado hasta el objeto



La silicona se aplica manualmente, adaptándola sobre la superficie del objeto con una ligera presión

Debe tenerse en cuenta que el grosor del molde y del soporte puede ser conveniente variarlos en función de las circunstancias y según diversos criterios. En otros casos deberán recalcularse las cantidades de material necesario.

Una vez a punto los productos necesarios, se procede a la preparación de la masilla de silicona para obtener el molde flexible. Para ello se mezclan los materiales antes citados, en las proporciones señaladas, rellenando recipientes de 5 litros, correspondientes a las tareas de aplicación según el "tiempo óptimo de trabajo".

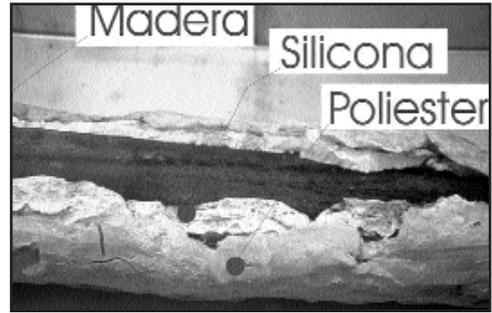
A continuación se sumerge el operador con el recipiente procediendo a la aplicación manual de su contenido sobre unos 25 centímetros cuadrados de superficie. El operador controla el grosor y la distribución del producto. No debe tardarse más de 40 minutos en la aplicación de un recipiente.

La superficie de los módulos no corresponde necesariamente a la obtenida con el volumen de un recipiente de preparación. El elastómero "mordiente" adhiere bien sobre el "curado" pudiendo aumentar la superficie de un módulo a voluntad.

En el caso concreto del ejemplo se ha empleado el catalizador tipo "estandar" y el desmoldeo puede realizarse con facilidad transcurridas 10 horas.

Para la preparación del soporte rígido se mezcla en superficie la masilla de poliéster con la sílice pirogenada y el peróxido de metiletilcetona en el modo y proporciones anteriormente indicados. El volumen preparado se ajusta a la previsión de trabajo en un tiempo "óptimo" de 15 minutos. A continuación se sumerge el recipiente y el operador aplica manualmente el producto sobre el reverso del molde flexible controlando el grosor y la distribución del producto.

El sistema de aplicación modular para el poliéster es idéntico al empleado para el elastómero de silicona. Puede hacerse el solapamiento de módulos cuya extensión y forma es completamente arbitraria. Al cabo de 6 horas, en este caso, el soporte de poliéster es manipulable y puede extraerse a la superficie. Se retira el elastómero transportándolo de forma independiente.



La imagen tomada en el laboratorio muestra la cara inferior del elemento moldeado en la lámina anterior



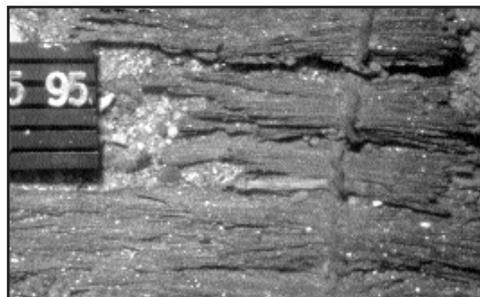
La resina de poliéster se aplica sobre la silicona hasta cubrir completamente la cara expuesta del objeto

Extracción de objetos fragilizados, "esterilla vegetal del Barco I de Mazarrón"

El hallazgo de una esterilla trenzada de fibras vegetales sobre la tablazón del Barco I plantea la necesidad de realizar una extracción segura de este vestigio conservado en unas condiciones extremas de fragilidad. La desmembración del trenzado trasversal es el principal riesgo de alteración que reviste el trabajo de recuperación.

Una vez desenterrado el plano vegetal de aproximadamente 30 x 15 cm., la simple acción de la corriente marina de poca intensidad es capaz de fragmentar irreversiblemente la fábrica del objeto. Por tanto, la técnica del molde se convierte en la mejor solución para fijar la estructura debilitada del objeto que pretendemos extraer a la superficie. El elastómero de silicona se convierte, de esta manera, en un soporte "a medida" que se adapta a la superficie del material impidiendo cualquier movimiento brusco e incontrolado.

El proceso de extracción comienza por excavar el objeto en la extensión suficiente para permitir la adaptación del elastómero con garantías de fijación. La preparación de la silicona se realiza conforme al sistema descrito anteriormente aplicando el producto con el grosor proporcionado a la superficie del objeto. La irregularidad del objeto puede sugerir el empleo de una mayor cantidad de producto para superar los desniveles del sustrato y obtener un grosor uniforme mínimo de uno a dos centímetros.



Resto de esterilla *in situ*

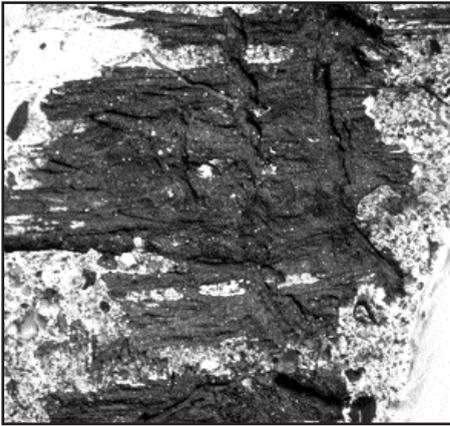
Asimismo, el empleo de un soporte rígido es opcional en virtud de las dimensiones del objeto, ya que no superando los 50 x 50 cm., esta parte del sistema puede suplirse por un engrosamiento del molde para restarle flexibilidad y obtener un soporte más estable.

Habiéndose producido la curación del producto, el objeto puede girarse sobre sí mismo, invirtiendo su posición y mostrando la cara que permanecía enterrada. De esta forma se adquiere un control directo sobre la parte no protegida del objeto que no obstante, para más seguridad, puede introducirse en un recipiente y ser cubierta con un pequeña cantidad de arena.

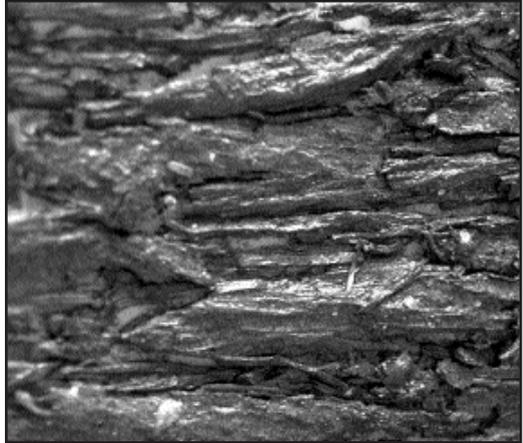
La extracción del objeto en estas circunstancias garantiza la estabilidad física del mismo. Además, la envoltura de arena le permite mantener unas condiciones químicas -humedad, luz, temperatura- semejantes al medio de origen indispensables para evitar su alteración.

El objeto trasladado al laboratorio de conservación puede ser progresivamente desprovisto de los elementos incorporados. En primer lugar, se retira la arena para lo cual es preciso realizar una delicada micro-excavación que

deje a la vista el área total del objeto. Observando un gran cuidado en la operación se extrae el molde junto con el objeto para proceder a su lavado que debe ser tan esmerado como exijan las condiciones del material. Si es preciso, el agua puede aplicarse en forma de aspersión indirecta para emparar la superficie del objeto y despejar paulatinamente los restos de arena.



Esterilla invertida sobre el molde una vez extraído

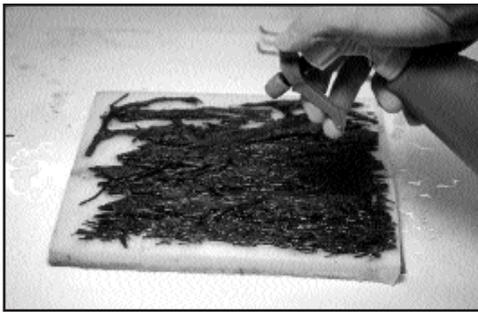


Detalle de las fibras desmoldadas

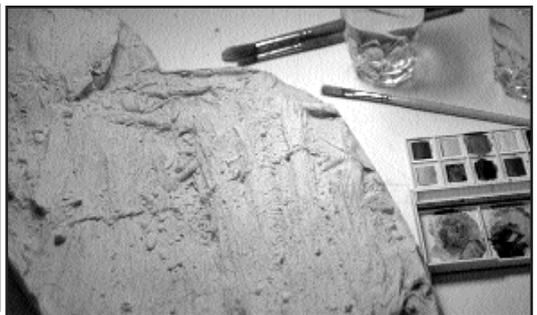
El desmoldeo es finalmente la operación más comprometida de este proceso. Para retirar el molde del objeto, nunca a la inversa, puede ser necesario actuar sobre el mismo practicando cortes estratégicos que permitan su extracción sin daño del objeto.

Completado este paso, el material se tratará según el proyecto de intervención establecido de antemano. En cualquier caso, la inercia química del elastómero permite incorporarlo al tratamiento de consolidación prescrito o conservarlo junto al objeto durante el espacio de tiempo necesario con la medidas de prevención adecuadas.

La reproducción final del objeto puede realizarse con diferentes materiales –resina de poliéster, escayola, epoxi, etc.–, según la finalidad establecida –exhibición didáctica o estudio dimensional. En cualquier caso, la técnica de



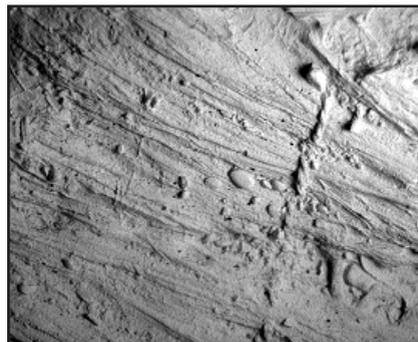
Humectación de las fibras depositadas sobre una cama de espuma de poliuretano



Utensilios de trabajo de policromía

vaciado se define en función del material escogido, ya sea por colada en líquido, en pasta o estratos laminares.

El método empleado en el ejemplo, escayola dental y policromado, es uno de los más habituales cuando se requiere un acabado cromático similar al objeto primitivo. Por otra parte, la óptima penetración de este material así como su escasa retracción dimensional, lo hacen aconsejable en reproducciones de uso científico.



Detalle del positivo antes de la policromía

Productos y marcas comerciales

Base Silastic 3481 de DOW CORNING®. Especificaciones técnicas aportadas por el fabricante –DOW CORNING. PRODUCT SAFETY DATA SHEET, 30/08/94-: caracterización técnica = elastómero de silicona, nombre = silicato de zirconio, color = blanco, viscosidad = 4000 máximo mPa.s, RTV = 7,10 r.p.m. después de 8 minutos, cambio de viscosidad = 20 al 60 %, peso específico del producto preparado en hoja de 2 milímetros y curado durante 7 días a 22 °C, 50 % de humedad relativa = 1,17–1,23, dureza SHORE A = 16–26, resistencia a la rotura, mPa = 3,7 mínimo, alargamiento a la rotura, % = 400 mínimo, resistencia al desgarro, KN/m = 18 mínimo.

Agente de curado Silastic 81 de DOW CORNING®. Especificaciones técnicas aportadas por el fabricante –DOW CORNING. PRODUCT SAFETY DATA SHEET, 01/07/94-: caracterización química = compuesto orgánico, nombre = tetraetil silicato, forma = líquido, color = transparente, peso específico = 0,95, viscosidad = 30 mPa, volatilidad = < 40 %.

Aditivo tixotrópico Silastic de DOW CORNING®. Especificaciones técnicas aportadas por el fabricante –DOW CORNING. PRODUCT SAFETY DATA SHEET, 12/07/94-: caracterización química = silicona, forma = líquido, color = ambar, viscosidad = 310 cst, peso específico = 1,04, volatilidad = 10 %.

Resina de poliéster RESIPOL tixotrópica (BH-719). Especificaciones técnicas generales (HORIE, 1987: 183): nombre = poli(1-fenil-etileno), temperatura de vitrificación = 80 °C, índice de refracción a temperatura ambiente (20-25 °C) = 1,59, módulo de elasticidad = 3500, estabilidad = C (20 años – 6 meses).

Sílice coloidal pirogenada LO-VEL 27. Especificaciones técnicas: nombre = bióxido de silicio puro (SiO₂), presentación = polvo blanco finísimo, superficie = 150 m²/gr., tamaño de partícula primaria = 21 nanómetros, pH = 6,5 a 25 °C.

Bibliografía

BLACK, M.; *Casting & moulding in paleoantropology and allied disciplines*. <<http://www.duke.edu/~mtb3/castingmanual>> [Consulta: 25 noviembre 2003].

- BLANCO GARCÍA, R. M.; *Un viaje a Grecia que cambió el rumbo de la arqueología en España. Proyecto de recopilación sistemática de fondos documentales de museos. N° PB 97-0286.* <<http://www.ucm.es/info/gmal/grecia.html>> [Consulta: 5 enero 2003].
- DALEY T., MURDOCK L. D. (1984): "Underwater molding of a cross-section of the San Juan hull: Red Bay, Labrador, Canada". *ICOM Committee for Conservation, 7th Triennial Meeting, Copenhagen*, vol. 1, 84.7.1-5.
- DAVID, R. y DESCLAUX, M. (1988): "Le moulage subaquatique", *Pour copie conforme*, (Serre Ed.), Paris, 315-316.
- EMPEREUR, J-Y: "Underwater archaeological investigations of the ancient Pharos" en *Underwater archaeology along the Alexandrian Coast. Underwater archaeology and coastal management* (UNESCO Publishing) Paris, 55.
- HORIE, C. V. (1987): "*Materials for Conservation. Organic consolidants, adhesives and coatings*", (Butterworths ed.) Kent, 183.
- MORALES MIRANDA, J. (2001): *Guía práctica para la interpretación del patrimonio. El arte de acercar el legado cultural al público visitante* (Consejería de Cultura. Junta de Andalucía, EPGPC), Sevilla, 324.
- MURDOCK, L. D., DALEY, T. (1981): "Polysulphide rubber and its application for recording archaeological ships features in a marine environment", *IJNA 10.4*, 337-342.
- MURDOCK, L. D., DALEY, T. (1982): "Progress report on the use FMC polysulphide rubber compounds for recording archaeological ships features in a marine environment", *IJNA, 11.4*, 349-353.
- NEGUERUELA, I., PINEDO, J., GÓMEZ, M., MIÑANO, A., ARELLANO, I., BARBA, J. S. (1995): "Seventh-Century BC Phoenician Vessel Discovered at Playa de la Isla, Mazarron, Spain", *IJNA 24*, 189-97.
- OLMOS ROMERA, R. (1999): "Dibujos, moldes y fotografías: tres formas de apropiación de la cultura ibérica" *Catálogo exposición Albacete, 20 Mayo-30 Junio, 1999: La cultura ibérica a través de la fotografía de principios de siglo. Un homenaje a la memoria.* <<http://www.ffil.uam.es/catálogo/olmos.htm>> [Consulta: 4 de nov. 2002].
- UNESCO (2002): "Subaqua Fiches/ Engilsh. Summary." <<http://www.unesco.org/culture/legalprotection/water/images/infkite.pdf>> [Consulta: 23 de oct. 2002].
- ZAMBRANO VALDIVIA, L. C. (1995): "Nuevo procedimiento para la obtención de moldes subacuáticos". ES-2 119 649. España. Patente de Invención. 9501565.1995.08.95.
- ZAMBRANO VALDIVIA, L. C. (2000): "Moldeo subacuático de objetos arqueológicos", *PH Boletín 32*, 175-182.

**INSTALACIÓN DE UN LABORATORIO
DE RESTAURACIÓN DE MATERIALES DE
PROCEDENCIA SUBACUÁTICA**

Carlos GÓMEZ-GIL AIZPÚRUA

Dirección Xeral do Patrimonio, Consellería de Cultura de la Xunta de Galicia
Sto. Domingo de Bonaval s/n, 15704 Santiago de Compostela (A Coruña)
carlosgomezgil@terra.es - caizpurua@terra.es

El desarrollo de la arqueología subacuática tuvo a raíz de la invención de la escafandra autónoma a mediados del siglo pasado un gran crecimiento que ha traído como consecuencia el desarrollo de gran cantidad de proyectos de excavación e investigación de restos arqueológicos de dicha procedencia. Hoy en día no se entiende acceder a estos proyectos sin tener garantizado la conservación de los materiales extraídos en estas actuaciones.

La labor de un restaurador, dentro de este campo, es muy variada ya que, a la presencia física en la excavación para realizar las labores de conservación preventiva y extracción de piezas, debemos de sumar las propias del trabajo en el laboratorio de conservación y restauración de dicho material. Si en algo podemos ser caracterizados en una excavación subacuática, desde nuestro punto de vista, es la indefinición *a priori* del número de piezas que se extraerán, y mucho menos de su tamaño, así como de su estado de conservación.

Esta problemática es la que nos va a acompañar a lo largo de nuestro trabajo. Por poner un ejemplo, es estéril definir un tamaño standard de tanques de desalación, ya que lo normal es que nos llegue una pieza para tratar que rebese este tamaño, si por el contrario, optamos por grandes tanques, podemos encontrarnos con la poca operatividad y falta de control en los tratamientos por la presencia de pequeñas piezas en un gran volumen de agua. A todo esto debemos de sumarle la complejidad en la manipulación de dichos materiales, ya que a su fragilidad hay que unir la necesidad de encontrarse hidratados en todo momento, por lo tanto deberemos adecuar nuestro trabajo a las necesidades particulares de cada actuación.

Por desgracia, estamos acostumbrados a trabajar en los laboratorios con espacios previamente acotados y sin posibilidad de ampliarse, por no hablar de su ubicación, normalmente en los sótanos, con poca ventilación y falta de luz natural. Evidentemente estas no son las condiciones ideales para realizar un trabajo adecuado, pero si nos referimos a trabajar con material de procedencia subacuática éste se hace imposible.

La responsabilidad de la conservación de las piezas, es del restaurador. Ésta empieza en la excavación y no termina en el paso de los materiales para su exposición en el museo, sino que durante ésta, se seguirán haciendo controles para garantizar su estabilidad. Por todo esto, en el diseño de los laboratorios han de tenerse en cuenta una serie de factores, que van desde la

entrada de las piezas en el laboratorio, hasta el control de las vitrinas de exposición.

Para el diseño de un laboratorio dedicado a la restauración de materiales subacuáticos, ha de tenerse en cuenta el peso y el tamaño de éstos ya que en una parte importante de los casos, ya sea por los materiales de constitución, o bien, por tener que estar introducidos en tanques para evitar su deshidratación, el peso a trasladar es tan importante que se hace imprescindible la presencia de una grúa que recorra todas las instalaciones, para permitir su transporte durante los procesos a los que hay que someter las piezas.

Estas grúas pueden ser de dos tipos, por un lado tenemos las autónomas, que consisten en la confección de un soporte con ruedas con la suficiente altura y rigidez como para soportar pesos elevados al que acoplaremos un polipasto; este conjunto se podrá trasladar por los laboratorios con el inconveniente de tener que sortear los obstáculos que nos encontremos. Por otro lado, el más efectivo que consiste en un puente grúa que se soporta sobre dos vigas metálicas laterales y que recorre todo el complejo al que se montará el polipasto, este sistema tiene el inconveniente de condicionarte el diseño del inmueble, ya que los laboratorios deberán ser rectangulares.

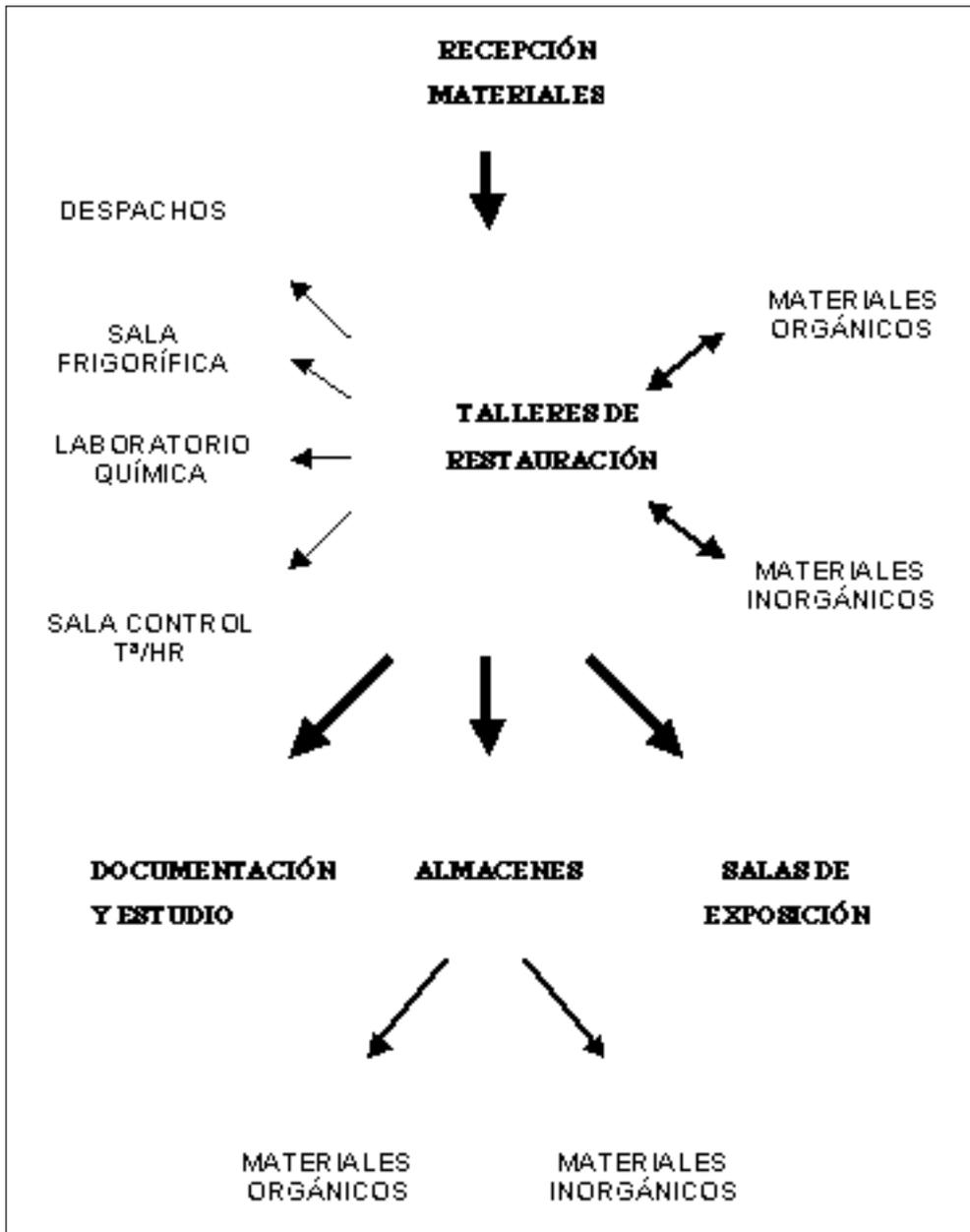
Siguiendo el presente esquema del recorrido de las piezas por los talleres y almacenes, podremos definir tanto el montaje de éstos, como los requerimientos para la organización del complejo.

Se empieza desde la recepción de los materiales por lo que la estancia ha de ser amplia para que puedan acceder vehículos grandes. Aquí comenzará el trabajo de apertura de los expedientes con los trabajos de documentación gráfica y la toma inicial de muestras. Con la ayuda del puente grúa, en el caso de ser necesario, trasladaremos las piezas a los talleres propiamente dichos.

La sala que albergue dichos talleres debería ser lo más amplia posible, con las mínimas barreras arquitectónicas que impidan el movimiento de grandes estructuras y por otro lado ha de ser recorrida por el mismo puente grúa con el que empezamos en la recepción de materiales. El espacio se debe poder organizar adaptando los laboratorios según las necesidades del trabajo. Dicha distribución espacial se puede realizar mediante paneles móviles con el fin de separar las diferentes áreas de trabajo, diferenciando éstas en materiales inorgánicos y orgánicos, pudiéndose subdividir en zona húmeda y seca.

El trabajo con materiales húmedos implica la adaptación del inmueble con suelos que aguanten el agua, fáciles de limpiar y con desagües para la evacuación del agua. Por otro lado, la confección de grandes tanques imprescindibles para trabajar este tipo de materiales hace necesario que el suelo se adapte para soportar dicho peso.

La infraestructura necesaria como la cámara liofilizadora, baños de impregnación, cámaras de vacío, cubas de ultrasonidos y cámaras de ensayos climáticos, hacen necesarias amplias zonas diáfnas debido a su volumen y por la necesidad de prever zonas para la introducción de los materiales en las cámaras.



Las instalaciones necesarias en el laboratorio, y abundando ante la imposibilidad de definir de antemano la zonas de trabajo, deberán colocarse en el perímetro adosadas a las paredes con tomas de agua, luz y aire comprimido, siendo necesaria la presencia de agua desalada, bien dentro de un circuito general o por el contrario con una planta autónoma.

La restauración de materiales subacuáticos y en especial los orgánicos, debido a su complejidad, son procesos multidisciplinarios en los que es

imprescindible que intervengan además del restaurador, como mínimo un químico, ya que han de controlarse multitud de procesos de análisis y ensayos durante el largo periodo del proceso de restauración. Por lo tanto, ha de preverse la presencia de despachos para alojar a los profesionales, así como, la de un laboratorio de química que deberá albergar los aparatos específicos espectrofotómetros, cromatógrafos, densitómetros, balanzas de alta precisión, ordenadores.

Por lo delicados que son estos aparatos se hace imprescindible que este laboratorio cuente con una sala aparte libre de vibraciones, con control automático de T^a/HR y con campanas de extracción de gases.

Dentro de las instalaciones anexas a los laboratorios deberemos de contar con una sala donde poder almacenar los diferentes elementos orgánicos durante los procesos de restauración. Con el fin de evitar la proliferación de microorganismos, si mantenemos ésta a una temperatura de 4° C podemos garantizar su correcta conservación durante este periodo. La instalación de estanterías nos facilitará su correcto almacenaje, aunque debemos de tener en cuenta que este sistema sólo es válido para piezas no excesivamente grandes.

En el caso de grandes piezas optaremos por el sistema empleado en el Centro Nacional de Arqueología Marítima, que consiste básicamente en la recirculación de agua, filtrada y tratada térmicamente a 4° C, sumergiendo las piezas en los tanques. Este sistema tiene múltiples ventajas, ya que no es necesario la adición de fungicida, y por otro lado, al poder regular la temperatura es factible utilizarlo de baño de impregnación, facilitando enormemente las labores de restauración ya que no es necesario mover las piezas durante estos procesos.

Otra de las instalaciones anexas a los laboratorios es la destinada al almacenaje de materiales en proceso de restauración que por composición o estado podríamos definir como muy delicados y por lo tanto no deberían sufrir cambios bruscos en sus condiciones ambientales. Para ello deberemos contar con una estancia donde se podrá regular tanto la humedad como la temperatura dependiendo de las necesidades del material a almacenar. Esto está especialmente indicado para materiales orgánicos en proceso de estabilización, como los metálicos antes de su inhibición.

Una vez concluidas las labores de restauración los materiales pasarán, según el dictamen del personal técnico de cada museo, bien a los almacenes, a las salas de documentación o directamente a las salas de exposición. Aunque no atañen directamente a los servicios de los laboratorios, pero incidiendo en que la responsabilidad de la conservación de las piezas continúa durante los periodos de exposición o almacenaje, para el montaje de los almacenes y en el diseño de las vitrinas de exposición han de tenerse en cuenta una serie de factores:

Los almacenes deberán diferenciarse según los materiales que se depositarán en ellos. La división más natural es la de inorgánicos y orgánicos ya que las condiciones medioambientales son mas dispares, aunque dentro de éstos, y dependiendo de cada pieza en concreto, podremos subdividirlos. El

almacén constituye una de las zonas más importantes de un museo, pues la mayor parte de los objetos permanecen más tiempo almacenados que en exposición. Un almacén debe estar racionalmente organizado, estar bien equipado, ser seguro y estar capacitado de garantizar la conservación de los objetos allí depositados. En cuanto a conservación, lo ideal es evitar la luz, asegurar la limpieza y establecer un buen acondicionamiento climático.

Por lo tanto, los almacenes deberían contar con un control climático diferenciado por zonas estancas, que por desgracia pocos almacenes patrimoniales cuentan, y teniendo en cuenta que nos podemos encontrar con piezas de gran tamaño con los consiguientes problemas de movilidad y almacenaje. Las vitrinas de exposición tampoco se escapan de estos condicionantes pero deberemos prestar atención a la incidencia de la luz sobre las piezas.

Los materiales orgánicos son fotodegradables; dentro del espectro de la luz, van a ser los rayos U.V. los más dañinos, aunque también pueden ser muy perjudiciales los rayos I.R. La madera es más sensible a la radiación U.V. actúa principalmente sobre la lignina dando lugar al oscurecimiento progresivo de la madera. El material óseo se decolora ante la luz, generalmente por la acción superficial de ácidos. Ácidos que la luz también cataliza su formación, como por ejemplo la del ácido sulfúrico a partir del dióxido de azufre ambiental. La luz incide además en la degradación de los pigmentos tanto en los materiales inorgánicos como en los orgánicos policromados.

Como conclusión, las labores de conservación-restauración de materiales de procedencia subacuática, además de multidisciplinarias, son complejas y largas en el tiempo, por ello deberemos adaptar los laboratorios a los casos concretos, y para todo esto, necesitaremos que conceptualmente, los laboratorios estén preparados para poder modularlos en este sentido.

El resto de las instalaciones no se escapan de estos mismos conceptos, pero incluyendo la parafernalia necesaria para el trabajo con materiales voluminosos. En este artículo hemos obviado la definición de las instalaciones necesarias para albergar el material necesario para realizar inmersiones, que aunque se escapa del concepto de laboratorio, no debemos olvidarnos de su necesidad.

Bibliografía

- AA.VV. (1990): *La arqueología subacuática en España*, Ministerio de Cultura, Dirección General de Bellas Artes y Archivos, Murcia.
- AGNEW, N. Y LEVIN, J. (1996): "Adaptar la tecnología a la conservación", *Conservación. Boletín del G.I.C.* XI-(3), Los Ángeles, 16-18.
- AMITRANO BRUNO, R. (1985): "Evolución y desarrollo de los criterios de restauración de la antigüedad al panorama actual", *La Restauración en España, Revista de Arqueología* 47, Madrid, 20-33.
- BERDICOU, M. CL. (edit.) (1990): *La Conservation en Archéologie*, Masson, París.

- BRANDI, C. (1988): *Teoría de la restauración*, Alianza Editorial, Madrid.
- CABRERA ORTI, M^a. A. (1994): *Los métodos de análisis físico-químicos y la historia del arte*, Universidad de Granada, Granada.
- CALVO, A. (1997): *Conservación y Restauración. Materiales, Técnicas y Procedimientos*, Ediciones del Serbal, Barcelona.
- CARBALLO, J. (1927): "Nuevo procedimiento para la conservación de osamentas fósiles", *Bastón de Mando Prehistórico Procedente de la Caverna de El Pendo (Santander)*, Santander, 45-51.
- CARRERAS Y TARRAGO, A., PEDRAGOSA Y GARCÍA, N. y PUJOL ÁLVAREZ, N. (1991): "El papel del conservador-restaurador en el montaje de exposiciones temporales y/o itinerantes", *Actas del VIIº Congreso de Conservación de Bienes Culturales*, Bilbao, 53-64.
- CASADO HERNÁNDEZ, J. (1994): "En torno a la conservación-restauración y sus criterios de actuación en arqueología", *Actas del Xº Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales*, Cuenca, 127-135.
- CHAVIGNER, F. (1993): "Archeologi e restauratori, la regione della collaborazione", *Archeologia, Recupero e Conservazione*, Firenze, 75-89.
- CLYDESDALE, A. (1982): *Chemicals in conservation: A guide to possible hazards and safe use*, Roma.
- DALFUKU, H. (1979): "Instalación del laboratorio. Ejemplo de un programa de ayuda de la UNESCO a países de las regiones tropicales", *La Conservación de los Bienes Culturales*, UNESCO, París (2ª edición), 89-101.
- FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. (1986a): "Una nueva experiencia en arqueología de campo. El laboratorio de conservación y restauración de las excavaciones romanas de Julióbriga (Reinosa, Cantabria)", *Arqueología 13*, Porto, 185-188.
- FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. (1986b): "Bibliografía en lengua castellana sobre conservación y restauración de materiales arqueológicos", *Conclusiones y Ponencias del Vº Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Actas de VIº Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales*, Tarragona, 351-360.
- FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. (1986c): "Bibliografía en lengua castellana sobre conservación y restauración de materiales arqueológicos (II)", *Actas de VIº Congreso de Conservación de Bienes Culturales*, Tarragona, 185-191.
- FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. (1987): "Museos y conservación", *El Museo de Pontevedra XLI*, Pontevedra, 669- 682.
- FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. (1988): "Los laboratorios de conservación en los museos arqueológicos", *Actas del Xº Congreso de Estudios Vascos*, San Sebastián, 469-471.
- FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. (1990): *Recuperación y conservación del material arqueológico "in situ". Guía de campo*, Tórculo Ediciones, Santiago.
- FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. (1993): "Organización y funcionamiento del

- laboratorio de conservación y restauración", *Arqueología y Conservación* (C. FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, L. CASTRO PÉREZ y F. PÉREZ LOSADA, eds.), Xinzo de Limia, 117-129.
- FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. (1996): "Montaje y funciones del laboratorio de conservación en un museo de arqueología", *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad Autónoma de Madrid*, 23, Madrid, 9-36.
- FERNÁNDEZ MARTÍNEZ, V. M. (1989): *Teoría y método de la arqueología*, Editorial Crítica, Madrid.
- GILBERG, M. y GRATAN, D. W. (1996): "A dynamic system for removing oxygen from air using an electrochemical cell", *Studies in Conservation* 41-(3), London, 183-186.
- GUICHEN, G. de (1984): *Climat dans le musée*, Roma.
- GÓMEZ GONZÁLEZ, M^a. L. (1994): *Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte*, Ministerio de Cultura, Madrid.
- HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, F. (1994): *Manual de museología*. Madrid.
- HERRÁEZ, J. A. y RODRÍGUEZ LORITE, M. A. (1991): *Recomendaciones para el control de las condiciones ambientales en exposiciones temporales*, Ministerio de Cultura, Madrid.
- HODGES, H. W. M. (1979): "Instalación del laboratorio. Equipo y operaciones fundamentales", *La Conservación de los Bienes Culturales*, UNESCO, Paris (2^a edición), Paris, 86-97.
- JOVER, A. (1989): "Conseroació y restauració de ls objects arqueologics", *Excavacions Arqueologiques Subaquatiques a Cala Culip (I)*, Girona, 45-55.
- JOVER, A. (1993): "Extracción y tratamiento de objetos arqueológicos submarinos", *Arqueología y Conservación* (C. FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, L. CASTRO PÉREZ y F. PÉREZ LOSADA, eds.), Xinzo de Limia, 73-85.
- MARÍN BAÑO, C. y ZAMBRANO, L. C. (1995): "Conservación preventiva. Actuaciones desarrolladas en el proyecto arqueológico "Nave Fenicia" de Mazarrón", *Cuadernos de Arqueología Marítima* 3, Cartagena, 187-208.
- MICHALSKI, S. (1985): Un módulo de regulación de la humedad relativa, "Museum" 146, Paris, 85-88.
- MOLINA CARRIÓN, M. y SANTIAGO PÉREZ, A. (1988): "Conservación y restauración en el Puerto de Santa María", *Revista de Arqueología* 85, Madrid, 60.
- MOUREY, W. (1987): *La conservation des antiquites métalliques, De la fouille au musée*, Draguignan.
- MURDOCH, L. D. (1978): "A stainless steel treatment tank for the conservation of waterlogged wood", *Studies in Conservation* XXIII-(1), Londres, 69-75.
- NEGUERUELA, I. *et alii*, (1999): "Proyecto museológico para la construcción de la nueva sede del Museo Nacional de Arqueología Marítima y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas (MNAM-

- CNIAS) Cartagena“, *Cuadernos de Arqueología Marítima* 5. Cartagena pp. 9-50
- NORTH, N. A. (1987): *Conservation of metals, “Conservation of Marine Archaeological Objects“*, Londres, pp. 207-252.
- ORGAN, R. M. (1968): *Design for Scientific Conservation of Antiquities*. Londres.
- ORGAN, R. M. (1987): “An adaptable compact modular bench“, *Studies in Conservation XXXII- (1)*, London, 41-46.
- PEARSON, C. (1984): “La conservation du patrimoine subaquatique“, *La Sauvegarde du Patrimoine Subaquatique*, UNESCO, Paris, 79-136.
- PINILLA PINILLA, E. (1982): “Los talleres de restauración en los museos. Criterios básicos“, *Actas de la Primeras Jornadas del Patrimonio Histórico-Artístico*, Vol. II, Burgos, 809-810.
- PORTA, E. (1986): “El conservador-restaurador: Una definición de la profesión“, *Actas de VIº Congreso de Conservación de Bienes Culturales*, Tarragona, pp. 48-51.
- PORTA, E. (1992): “Los ordenadores y adquiridores de datos en las medidas climáticas de los museos“, *Actas del IXº Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales*, Sevilla, 764-767.
- RINUY, A. y SCHWEIZER, F. (1982): “Application of the alkaline sulphite treatment to archaeological iron: A comparative study of different desalination methods“, *Conservation of Iron*, Greenwich, 44-49.
- SIERRA, J. L. y GÓMEZ-GIL, C. (1996): “Construcción de un sistema de tratamiento térmico para la conservación de los restos del barco fenicio de Mazarrón“, *Cuadernos de Arqueología Marítima* 4, Cartagena, 245-249
- 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, Cartagena, 1-58
- SLABCZYNSKI, S. (1964): “Establishing a laboratory for restoration of paintings“, *Museums Journal* LXIV-(1), Londres.
- TILLOTSON, R. C. (1980): *La seguridad en los museos*, Ministerio de Cultura, Madrid.
- I.C.O.M. (1990): *Code de déontologie professionnelle*, París.

**LOS PECIOS DE CALA CULIP (GIRONA) Y CASTELL-
DEFELS (BARCELONA). EXCAVACIONES EN AGUAS
INTERIORES: LA DRAGA DE BANYOLES (GIRONA),
IESSO DE GUISSONA (LLEIDA) Y CAN GUARDIOLA
DE TERRASSA (BARCELONA)**

Anna JOVER I ARMENGOL

Museu d'Arqueologia de Catalunya - Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya
Carrer Pedret 95, 17007 Girona
a.jover@antics.ub.edu

Partiendo de una larga tradición en el campo de la arqueología y particularmente en arqueología subacuática, tal como describe el Dr. Javier Nieto en este libro, y con la excavación del yacimiento de Sa Tuna (Girona) en el año 1981, se consolidó un equipo pluridisciplinar para realizar excavaciones arqueológicas subacuáticas, con el objetivo de desarrollar un proyecto de estudio arqueológico riguroso de los yacimientos subacuáticos, desde la excavación hasta la exposición de los objetos recuperados en el museo. Dentro de este proyecto, la conservación del material subacuático ocupaba un lugar prioritario, pues es de todos conocido, que la degradación de los objetos, en cuanto salen a la superficie y no se toman las medidas adecuadas, puede conllevar deformaciones y pérdidas irreversibles, particularmente con materiales de origen orgánico (FLORIAN, 1990: 5-11) y por tanto era necesario tener una formación específica y estar dotados de los medios adecuados para poder tratar estos materiales. Se hallaron soluciones para conseguir una incipiente infraestructura necesaria para el Centro y facilitar la formación de un especialista para manipular y tratar este tipo de materiales. Con esta filosofía se montaron campañas arqueológicas contando con la participación de una conservadora, cuya intervención empezaba en el momento de la planificación de la excavación.

No siempre es posible conocer el alcance real de un yacimiento subacuático y la riqueza y variedad de los materiales que se recuperarán, pero sí se conoce de antemano el entorno en donde se montará la excavación, la posibilidad de disponer de agua corriente, el tener un lugar para depositar los objetos o tener un almacén en donde guardar materiales y productos para el tratamiento inicial *in situ* de los materiales arqueológicos. El conocimiento de éstos y otros aspectos nos ayudó mucho en el buen funcionamiento de las excavaciones, puesto que permitió ponerse de acuerdo con los arqueólogos a fin de determinar las pautas a seguir para la conservación de los materiales sin que se alterara el ritmo de la excavación. La planificación era imprescindible para poder tener todos los materiales y productos a mano, los envases adecuados, las herramientas para la limpieza y eliminación de lodo, arena, concreciones, previsiones de agua corriente, a ser posible, etc. La preparación para la correcta extracción y conservación de los posibles materiales hallados, es condición indispensable antes de iniciar cualquier excavación, para asegurar su supervivencia.

Después de la excavación de Sa Tuna, arqueólogos, submarinistas, biólogos, arquitectos navales, conservadores, etc., colaboramos organizando la excavación de Culip IV en la zona del Cap de Creus (Girona), bajo la dirección del director del C.A.S.C., Javier Nieto.

Los sondeos indicaban la presencia de *Terra Sigillata* y tomamos las medidas necesarias para tratar la cerámica durante la campaña, de manera que llegara al laboratorio en condiciones para continuar el desalado que iniciaríamos durante la excavación. Probablemente aparecerían restos de la embarcación y teníamos ya un prototipo de tina siguiendo el modelo descrito por L. Murdock (1978: 69-75) para utilizar el método de impregnación con PEG a saturación (DE JONG, 1978: 1-10, CHRISTENSEN, 1970: 6; SAWADA, 1978: 49-58; JESPERSEN, 1981: 72), que nos había dado buenos resultados (JOVER, 1992c) asesorados y habiendo hecho el aprendizaje en Brede (Dinamarca), bajo la dirección de K. Jespersen del Museo Nacional de Copenhague. Estábamos también trabajando y preparados para tratar objetos de metal y manteníamos contactos con W. Mourey del CNRS de Draguignan.

Se inició la primera campaña en septiembre de 1984 en Cala Culip en el Cap de Creus (Girona) y, bajo la gruesa capa de posidonias, apareció un cargamento muy importante de ánforas tipo Dessel 20 y de cerámica de *Terra Sigillata* mayoritariamente. Se trataba del pecio romano Culip IV, datado hacia el año 75 de nuestra era. Para la extracción de las ánforas, debido a su mal estado de conservación, por estar hechas de una arcilla poco compactada y por su baja temperatura de cocción, nos obligó a emplear un artefacto consistente en un aro de hierro algo mayor que el diámetro máximo de las ánforas del que pendía una red, de modo que, descalzando éstas del fondo, introducíamos el aro y la cerámica nos quedaba arropada con la red. Luego con la ayuda de globos, las subíamos hasta la superficie. El tratamiento en la excavación consistía en una limpieza superficial para detectar posibles estampillas o marcas seguida de un desalado con agua corriente.

En cuanto a los vasos y fragmentos de *Terra Sigillata*, la extracción no presentaba ningún problema puesto que su estado de conservación era muy bueno (Lámina I). El gran volumen de material requería una buena organización para rentabilizar los procesos y poder compaginar las actuaciones de limpieza con las de siglado, mediciones, ordenación y



Lámina I

almacenamiento. La cerámica, libre de concreciones, por métodos mecánicos, con ayuda de cepillos, palitos de naranja o instrumentos de dentista mientras estaba mojada, pasaba a secarse someramente para poderla siglar. El secado no se alargaba más de dos horas para evitar la formación de cristales de sales en superficie. Para las mediciones del diámetro de los vasos, anotación de los distintos punzones asociados en el caso de las *Sigillata* decoradas, sello del fabricante, etc., se usaban plantillas plastificadas para poder superponerlas a la cerámica mojada. Los fragmentos, separados por cuadros de la excavación, formas y partes del vaso, se guardaban en mallas de plástico etiquetadas con papel de poliéster y rotulador indeleble y cerradas con alambre fino forrado de plástico (mallas y alambre usados habitualmente en jardinería). Se colocaron en un refugio de la Cala habilitado como almacén, en cajas de plástico llenas de agua del grifo y se cambiaba el agua diariamente (ROBINSON, 1981:16)

El volumen final de este tipo de cerámica, extraído a lo largo de cuatro campañas (1984-1988), consistió en casi 100.000 fragmentos, que después de un laborioso trabajo de búsqueda y reconstrucción, dio lugar a 814 vasos decorados (NIETO y PUIG, 2001), aparte de los vasos sin decorar.

Material minoritario tratado también *in situ* fueron lucernas y cerámica de paredes finas. En éstas, eliminar las concreciones, requería habilidad y paciencia y pronto aparecieron “especialistas” dentro de los arqueólogos y submarinistas que se dedicaron a tratar este tipo de objetos.

Entre los materiales de naturaleza inorgánica encontramos objetos metálicos que formaban parte de la embarcación, como parte de la sentina de plomo o de un pasador de bronce, y una concreción especialmente interesante que resultó ser el negativo de una pata de cabra de hierro que, en el momento del naufragio, estuvo asociada a un clavo de bronce. Era un ejemplo claro de la corrosión galvánica entre metales de distinto potencial electromagnético, en el que el más noble queda protegido en detrimento del metal de menor potencial, en este caso el hierro. Se hizo una réplica de la herramienta en silicona tal y como se describe en la monografía de Culip IV (JOVER, 1989: 48-52)¹.

Entre los materiales de naturaleza orgánica se hallaron fragmentos sueltos de maderas pertenecientes al casco de la embarcación que se encontraron atrapados entre la carga del barco; por esto no desaparecieron, mientras que el casco de la embarcación se destruyó por los embates de la tramontana y la erosión de la arena del fondo. Estos restos se mantuvieron en agua corriente durante la excavación para eliminar las sales y evitar desecaciones (PEARSON, 1984). Se recuperaron huesos de frutos y semillas que ayudaron a conocer la época del año del naufragio. Otros objetos de distinta naturaleza están descritos en la publicación correspondiente a este yacimiento (NIETO *et alii.*, 1989: 45-226).

Mientras estábamos excavando Cp IV, aparecieron fragmentos de cerámica vidriada de época medieval. Finalizando Cp IV, se realizaron tres sondeos de 1 m² cercanos al yacimiento y se vio lo que sería Culip VI. Los pri-

meros restos que aparecieron fueron parte del maderamen del barco: cuaderna y tablas del forro en un buen estado de conservación y fragmentos sueltos de cerámica de características similares a las que se habían encontrado excavando Culip IV. La prospección se dio por acabada a finales de octubre y se preparó, a lo largo del año, una próxima excavación en la misma cala. El material arqueológico más importante de este nuevo yacimiento, tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo, eran las maderas del pecio. En cuanto a la conservación de este material orgánico, podemos distinguir dos actuaciones bien diferenciadas durante el estudio de la nave mientras se excavaba y una tercera etapa de tratamiento en el laboratorio de alguna pieza de madera.

Otro tipo de material tratado en la excavación y más tarde en el laboratorio para su conservación, fue la cerámica, que permitió datar la embarcación en la segunda mitad del s. XIV (NIETO *et alii*, 1989: 261-293).

Visto el volumen y dimensiones del pecio después de una campaña, y aún sin conocer la envergadura real del buque, puesto que en parte continuaba enterrado bajo la espesa capa de posidonias del fondo, se decidió hacer el estudio y la planimetría *in situ*, en futuras campañas. La infraestructura de que disponíamos en esa época no nos permitía hacer un tratamiento de conservación de los restos del barco en el laboratorio y se optó por dejarlo debidamente enterrado y protegido, en el fondo (Lámina II).

Era pues imprescindible obtener la máxima información durante las campañas de excavación, especialmente su arquitectura naval, su sistema constructivo o las huellas dejadas por el maestro de ribera. Esta información que podían dar las maderas comportaba una limpieza previa para eliminar la brea que recubría el interior de la embarcación. Esta capa impermeabilizante podía tener un grosor de hasta 2 y 3 cm y escondía detalles tan significativos como la numeración de las cuaderñas, los encajes entre varengas y genoles, los clavos de unión entre maderas, las dimensiones de las tablas del forro, las señales de la hoja de la sierra, etc. (Lámina III)

Se hicieron pruebas para eliminar la brea, muy endurecida, sin dañar la madera y buscando la manera más efectiva de realizar esta operación por la



Lámina II

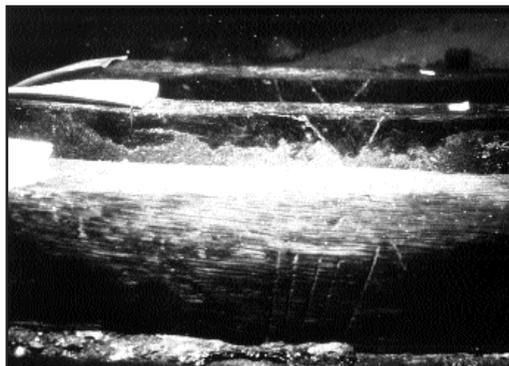


Lámina III

gran superficie a tratar. El grado de deterioración de las maderas era relativamente bueno (entre un 200 y un 400% de contenido en agua, referido a peso seco) y las superficies en contacto con la pega eran suficientemente consistentes para soportar una limpieza mecánica con herramientas metálicas, como los cuchillos de inmersión, rasquetas, etc. Otros materiales más suaves, probados inicialmente como cepillos de esparto o de nylon o estropajos duros, dejaban intacta la brea y se descartó su uso. Cuando se acabó la eliminación de la brea se vió que las maderas de la embarcación no estaban atacadas por xilófagos y que la degradación sufrida era similar en todo el Culip VI, a pesar de las distintas especies vegetales usadas en su construcción.

Se creyó necesario llevar a la superficie algunos elementos para su estudio y dibujo, y con ellos se tomaron todas las precauciones para evitar desecaciones y se mantuvieron, después de su estudio y mediciones en una tina con agua de mar y tapadas con plástico oscuro hasta su posterior retorno al lugar original.

Mientras duró la excavación se sacaron muestras representativas de las maderas para realizar determinaciones anatómicas y dendrocronológicas², así como algunas piezas para hacer un tratamiento de conservación en el laboratorio.

Acabada la etapa de excavación, hecha la planimetría y el estudio desde el punto de vista de su construcción naval y habiendo sacado a la superficie los materiales arqueológicos para su estudio, inventario y almacenaje, se procedió a tapar el pecio. Se intentó reproducir las condiciones de enterramiento en las que se había mantenido durante estos 700 años para no alterar el material orgánico y crear una barrera para evitar posibles acciones de furtivos. Se cubrió con arena del fondo usando las mangueras de succión y encima se colocaron los bloques de posidonia que se habían serrado y desplazado para estudiar el barco. El rectángulo excavado tenía unas paredes suficientemente elevadas para retener en su interior este material añadido, evitando su desplazamiento en caso de temporales. Al mismo tiempo, se creaba de nuevo una cámara relativamente estanca en la que pronto, la ausencia de oxígeno impediría la actuación minadora del *Teredo navalis*.

Los materiales arqueológicos recuperados de estas excavaciones, debidamente protegidos y embalados y asegurando su grado de humedad se trasladaron al laboratorio del C.A.S.C. en Girona para su conservación y estudio.

Tanto el material orgánico como inorgánico, excepto los metales, se colocaron en tinas para su desalado (ya que el material llegaba limpio de arena y libre de concreciones), separando los materiales según su naturaleza. Se usó agua del grifo con renovación lenta y constante de la misma, haciendo controles periódicos de cloruros en las aguas de lavado hasta conseguir una concentración de cloruros igual a la del agua empleada. En el caso de la *Terra Sigillata* del yacimiento de Culip IV, el periodo de desalado en estas condiciones duró entre 7 y 8 meses y sólo algunas piezas continuaron un tiempo más en una solución de la sal tetrasódica del ácido etilén-diamin-tetraacéti-

co (EDTA) al 5% (p/v) en agua desmineralizada, para eliminar restos de concreción carbonatada que deslucía la abriglantada superficie de la *Sigillata* (Láminas IV-VII).



Lámina IV

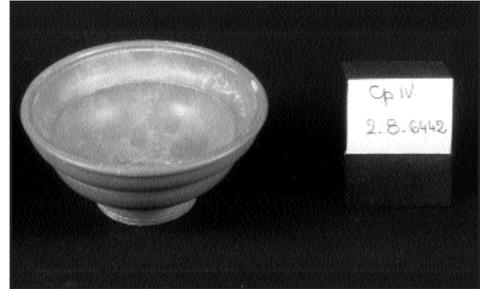


Lámina V

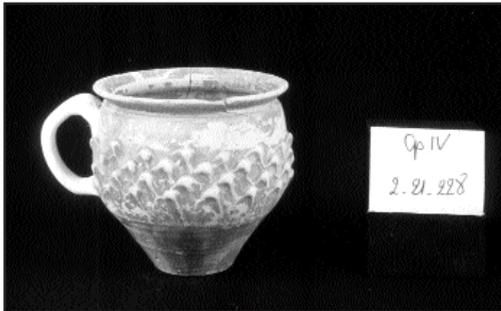


Lámina VI



Lámina VII

En el caso de las piezas más enteras y representativas de la cerámica vidriada del pecio medieval de Culip VI, el tratamiento con sales de amonio cuaternario al 10% en agua desmineralizada devolvió color y brillo al vidriado y aparecieron decoraciones que quedaban enmascaradas bajo una fina capa de concreción (JOVER, 1989: 30-32). Después de la adición de agentes complejantes, la cerámica se sumergió en agua desmineralizada y se sometió a posteriores lavados con cepillo para eliminar los restos de concreción y las sales añadidas.

Toda la cerámica desalada se dejó secar en bandejas con rejilla y se almacenó en espera de su restauración, en el caso que fuera necesario.

Para poder hacer un estudio en profundidad y riguroso de la *Terra Sigillata*, era imprescindible recomponer el puzzle para tener información sobre los vasos, punzones asociados, número de cada forma, *sigilla* asociados a formas, etc. y durante unos cinco años se trabajó en la asociación de fragmentos y en la restauración y consolidación de los 814 vasos decorados y de los lisos. Este trabajo lo llevaron a cabo Margarida Vila, Mercè Farré y Cati Aguer.

En cuanto al material orgánico, se procedió igualmente a su desalado tal como se hizo con la cerámica y las maderas; se trataron con PEG 4000 para

su conservación. El método empleado fue el de impregnación a saturación en caliente, a 60°C y llegando a una concentración del 80% en PEG (Lámina VIII).

Los metales se dejaron en agua desmineralizada en espera de un tratamiento específico dependiendo de su naturaleza (MOUREY, 1987: 97-99). Como objetos metálicos, recuperamos parte de la sentina de plomo, un pasador de bronce y la concreción asociada a un clavo del Culip IV. Todos los clavos de hierro usados en la construcción del Culip VI habían desaparecido debido a la oxidación.

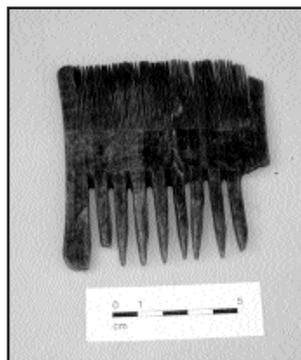


Lámina VIII

Paralelamente a la excavación de Culip VI y durante las obras de construcción del canal de Remo Olímpico de Castelldefels, aparecieron los restos de una embarcación medieval que había permanecido enterrada por la arena en esta zona del delta del Llobregat. Se trataba de una barca de pequeño porte de unos 10 m de eslora, probablemente un *llaüt*, con una capacidad de carga entre 4 y 5,4 Tm. Un hecho remarcable, en cuanto a su gobierno, es que es la única embarcación descubierta hasta el momento con los dos tipos de timón: axial y lateral. Esta barca se dedicaba al transporte de pescado envasado en jarras, probablemente en conserva. La cronología del yacimiento, a partir de la datación de la cerámica, lo sitúa dentro de la segunda mitad del siglo XIV (JOVER y PUJOL, 1992) (Lámina IX).

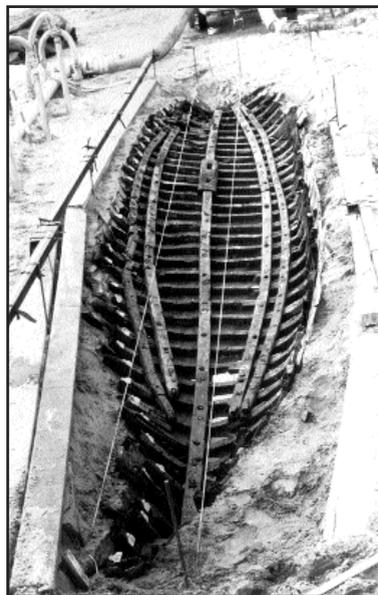


Lámina IX

Al aparecer este pecio, Les Sorres X, se pararon las obras de construcción del Canal en el lugar afectado y se procedió a su excavación, con carácter de urgencia, encargando el proyecto y posteriormente su realización al Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya. Puesto que se trataba de un derrelicto de suma importancia, el proyecto de excavación contemplaba la posibilidad de recuperación de la barca, el estudio de arquitectura naval, su conservación y su posterior montaje en un museo.

Era imprescindible dejar el lugar de la excavación en seco, puesto que la afloración continua de aguas de la capa freática imposibilitaba la eliminación de lodo y arena del interior de la embarcación, y al mismo tiempo este agua desplazaba algunas maderas. Para ello se utilizó el sistema del well-point y a partir de aquí se fue eliminando la arena del interior del pecio sin dañar la estructura. Trabajamos protegiendo siempre las maderas que iban quedando

al descubierto con plásticos oscuros, con riegos constantes, aspersores y mangueras y con la protección adicional de geotextil, que mantenía un grado de humedad satisfactorio. Se hicieron mediciones y la planimetría del buque y debido a su estado de conservación se optó por su desmantelamiento puesto que la resistencia mecánica de la embarcación era prácticamente nula y no hubiera soportado sacarla en bloque: las cuadernas estaban muy fragmentadas y las uniones con las tablas del forro eran inexistentes. Para ello se



Lámina X

montó a pie de excavación un sistema de limpieza, para eliminar la brea, los restos de clavos de hierro y la arena y el lodo que la cubrían (Lámina X). La limpieza mecánica era imprescindible para aplicar posteriormente el tratamiento de conservación a saturación con PEG en caliente. La brea en la superficie de las maderas crea una barrera que dificulta el intercambio entre el agua contenida en éstas y la disolución del baño de tratamiento

y los restos de óxido de hierro reaccionan con el PEG provocando, a largo plazo una desaparición de la madera alrededor de los restos de hierro. Se numeraron las piezas, se dibujaron a escala 1:1 sobre papel de poliéster, se fotografiaron, etc., para que las maderas llegaran al laboratorio en condiciones de ser tratadas inmediatamente. Se tomaron muestras de todas las maderas de los distintos elementos constructivos para hacer análisis anatómicos y dendrocronológicos³. A partir del cálculo del volumen de maderas a tratar se construyó, a pie de excavación, una tina de acero inoxidable 316 para colocar las maderas debidamente ordenadas y calzadas, para hacer en ella el tratamiento de conservación con PEG 4000 a saturación. El volumen de maderas a tratar era de 1.5 Tm y la tina midió 4.5 x 1.5 x 1.5 m, contando con espacio suficiente para los soportes perforados en los que se habían instalado de manera ordenada todos los elementos del barco.

Acabada la excavación se colocaron las bandejas dentro de la tina asegurando su inmovilidad y se trasladó al laboratorio del CASC en Girona. Allí se inició el proceso de desalado con agua corriente que duró aproximadamente un año. Se inició el tratamiento de conservación por inmersión total en PEG 4000 en caliente, a una temperatura de 60°C empezando el tratamiento a una concentración del 10% en agua desmineralizada y con un incremento de la concentración de PEG a razón del 1% semanal hasta llegar a una concentración del 80%. El proceso duró prácticamente 2 años. Al final de este período las maderas se estabilizaron primero en atmósfera al 100% de humedad y temperatura de 60°C para ir eliminando el PEG en superficie, y luego acabando de eliminar el exceso de PEG a temperatura ambiente con ayuda de trapos mojados con agua caliente. Se identificaron todas las made-

ras a partir de los dibujos hechos en la excavación y se perfilaron detalles como agujeros dejados por los clavos, uniones de cuadernas, etc. Los cambios dimensionales fueron prácticamente nulos (Lámina XI). Las maderas así estabilizadas se embalaron para guardarlas en un almacén en espera de la reconstrucción de la barca (Láminas XII y XIII) (JOVER, 1992a; JOVER, 1994).

Desde el año 1999, el centro dispone de un liofilizador (Lámina XIV) con una cámara de 1.80 m de longitud y 80 cm de diámetro, con lo que el tratamiento de maderas empapadas en la actualidad puede hacerse por liofilización (CHAUMAT *et alii*, 1997: 99-110). Después de una puesta a punto del método y vista la respuesta de nuestro liofilizador frente a tratamientos de especies vegetales diversas, de distintos tamaños y con distinto grado de deterioración, hemos tratado material orgánico de excavaciones realizadas en aguas interiores o en yacimientos conservados en nivel freático.

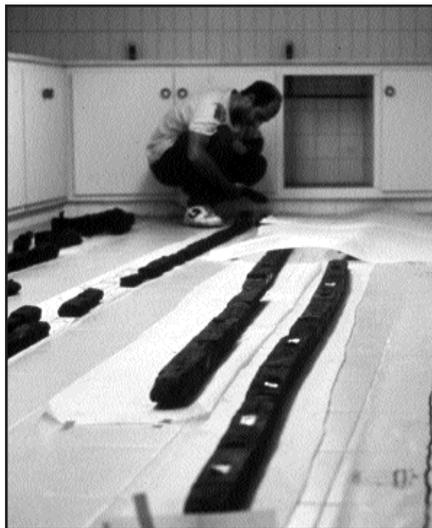


Lámina XI



Lámina XII



Lámina XIII

Este es el caso de los objetos de madera recuperados del yacimiento de la Draga de Banyoles, poblado lacustre del Neolítico (BOSCH *et alii*, 2000), excavado en estos últimos años conjuntamente por arqueólogos de tierra y arqueólogos subacuáticos, unos trabajando en tierra firme y los últimos en el lago. En este yacimiento se han recuperado objetos excepcionales que han sido tratados por liofilización, usando el PEG 400 por inmersión como agente crioprotector hasta una concentración del 20% como máximo, seguida de una impregnación con PEG 4000 de hasta un 40%. A continuación, las maderas se someten a congelación a -35°C y se liofilizan. Las maderas tratadas tenían un grado de deterioración elevado, de hasta el 900% de contenido en agua (referido a peso seco) y a veces fue necesario aumentar la concentra-

ción final de PEG 4000 para darles mayor consistencia. La impregnación de PEG durante el pretratamiento, se hace a 55°C y así evitamos el uso de bicidas en los baños. Hemos tratado también por el método de liofilización restos del suelo de cabañas hechos de lianas y cestería (Lámina XV). El acabado de las piezas consiste en aplicar una fina capa de Paraloid B-72 al 5% en xilol, con pincel o spray.

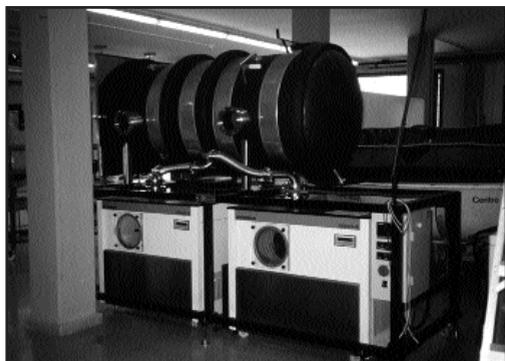


Lámina XIV

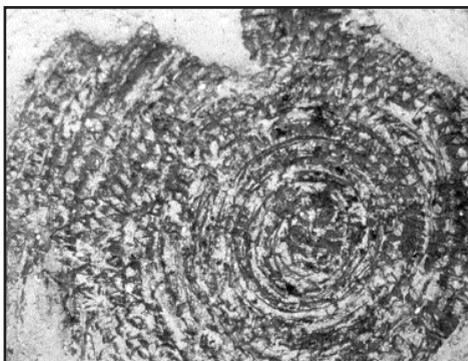


Lámina XV

Los buenos resultados obtenidos con este método, su menor duración respecto al método de la impregnación total y el aspecto final de los objetos tratados, hace que sea recomendable su utilización.

Otro ejemplo de tratamiento de objetos de madera por liofilización fue el yacimiento de Guissona (Lleida), de época romana. Se excavaron dos pozos a nivel freático, gracias a lo cual se habían conservado objetos, frutos secos, etc. (en prensa). El material recuperado era extremadamente valioso puesto que raras veces se encuentra material de origen orgánico en excavaciones terrestres, a no ser que sean restos carbonizados. Estuvimos en contacto permanente con el arqueólogo director de la excavación, para adoptar las medidas necesarias en todo momento y asegurar una buena extracción, mantenimiento durante la excavación y un adecuado medio de transporte hasta el laboratorio. De la correcta manipulación de este tipo de material, depende en parte el buen resultado de la conservación. Los materiales llegaron al laboratorio en perfectas condiciones (Lámina XVI).

También tratamos los restos vegetales de Can Guardiola (Terrassa), de un millón de años, consistentes en troncos y ramas del Pleistoceno inferior, fosilizadas por tanto, pero con un elevado contenido en agua como consecuencia de las condiciones de su enterramiento. A pesar de su mineralización, era imprescindible realizar un tratamiento de maderas empapadas puesto que, dejadas secar en condiciones ambientales, sufrían deformaciones irreversibles. En ellas se identificaron las especies⁴, apareciendo especies hoy extinguidas. El tratamiento fue el de liofilización, similar al descrito anteriormente, pero llegando a una menor concentración de PEG 4000, debido al grado de compactación de estas maderas (Lámina XVII).



Lámina XVI



Lámina XVII

Iniciamos recientemente el tratamiento de la barca hallada en la ría de Gernika, en País Vasco, que había sido excavada en el año 1999 y se mantenía sumergida en agua. En el momento de su extracción y después de eliminar el lodo y tierra que la cubría, se instaló en una tina de acero inoxidable de 14 m³ de capacidad (Lámina XVIII). Se hizo el estudio, planimetría, se dibujó, se tomaron muestras para análisis anatómicos y se inició un tratamiento con el método de la impregnación a saturación con PEG 4000 en caliente (MICHEL,1999). Se trata de una embarcación del siglo XV a tingladillo, de cabotaje para transporte fluvial y marítimo y los restos que se conservan miden unos 10m de eslora y cerca de 4m de manga. Hecha de roble con las tracas cosidas con clavos de reviro, esta embarcación se conserva tal como se encontró, puesto que las uniones mediante clavos de hierro son todavía firmes. El PEG es reutilizado y tiene una pequeña proporción de fenol usado como inhibidor de la corrosión. El tratamiento se realiza en Guipúzcoa y finalizará dentro de 17 meses aproximadamente, llegando a una concentración del 75%.

Los trabajos de conservación y de estabilización de materiales húmedos a lo largo de estos años, han dado resultados muy satisfactorios gracias a la colaboración de arqueólogos, submarinistas y restauradores, que desde campos distintos han hecho posible la recuperación de objetos únicos, algu-

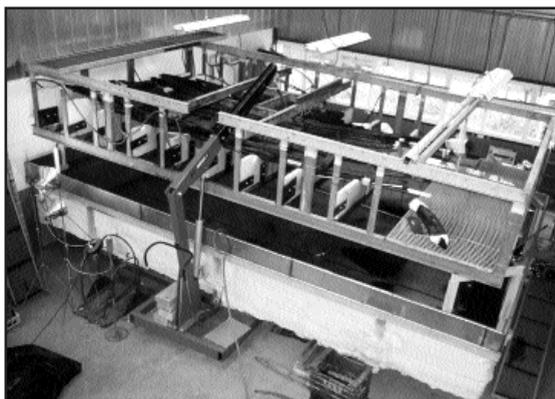


Lámina XVIII

nos especialmente lábiles y gracias a todos ellos, en la actualidad pueden verse en museos.

Bibliografía

- APESTEGUI, C. *et alii* (1998): "Excavacions arqueològiques subaquàtiques a Cala Culip.2", *Culip VI*, Girona, 30-32.
- BOSCH, A. *et alii* (2000): "El poblament lacustre neolític de la Draga. Excavacions de 1990 a 1998", *Monografies del CASC 2*, Girona.
- CHAUMAT, G., RAMIÈRE, R. y GINIER-GILLET, A. (1997): "Utilisation de la lyophilisation sous vide pour secher des bois gorgés d'eau", *Conservació de la fusta arqueològica humida*, Girona, 99-110.
- CHRISTENSEN, B. B. (1970): *The conservation of waterlogged wood in the National Museum of Denmark*, Copenhagen.
- DE JONG, J. (1978): "The conservation of shipwrecks by impregnation of polyethylene glycol", *ICOM Commitee for Conservation*, Zagreb, 7: 1-10.
- DE WITTE, E., TERFVE, A. y VYNCKIER, J. (1984): "The consolidation of the waterlogged wood from the gallo-roman boats of Pommeroeul", *Studies in Conservation 29*, London, 77-83.
- FLORIAN, M. L. (1990): *Archaeological Wood*, Ed. Rowell & Barbour, Washington.
- GOFFER, Z. (1980): *Archeological Chemistry*, New York.
- JESPERSEN, K. (1987): "Precipitation of iron corrosion products on PEG-treated wood", *Conservation of wet wood and metal*, Fremantle, 141-152.
- JOVER, A. (1989): "Conservació i restauració dels objectes arqueològics", *Excavacions Arqueològiques a Cala Culip - I*, Girona, 45-55.
- JOVER, A. (1992a): "Conservació del vaixell Les Sorres X", *Les Sorres X, un vaixell medieval al Canal Olímpic de Rem (Castelldefels, Baix Llobregat) I*, Barcelona, 57-61.
- JOVER, A. (1992b): "Aplicación del PEG a la madera procedente de Culip IV", *Cuadernos de Arqueología Marítima I*, Cartagena, 57-62.
- JOVER, A. (1992c): "Tratamiento y conservación de maderas: el ejemplo de Cala Culip", *Ciencias, Metodologías y Técnicas Aplicadas a la Arqueología (I.Rodá ed.)*, Fundación La Caixa, Barcelona, 261-269.
- JOVER, A. (1991d): "Tratamiento de conservación de materiales arqueológicos subacuáticos", *Ciclo de Conferencias de Arqueología Subacuática*, Vigo, 51-53.
- JOVER, A. (1993): "Extracción y tratamiento de objetos arqueológicos subacuáticos", *Arqueología y Conservación (C.Fernández Ibáñez, L.Castro Pérez y F.Pérez Losada eds.)*, Xinzo de Limia, 73-85.
- JOVER, A. (1994): "La consolidación de la madera empapada de la barca

- Les Sorres X, Castelldefels (Baix Llobregat)", *Xº Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales*, Cuenca, 59-67.
- JOVER, A. y PUJOL, M. (1992): "La barca medieval del Canal de Piragüismo. Un testimonio arqueológico excepcional", *El Canal de Piragüisme. El Parc de la Draga i L'actuació urbana de Banyoles per als Jocs Olímpics. Generalitat de Catalunya. Direcció Gral. d'Urbanisme*, Barcelona, 65-67.
- MICHEL, C. (1999): *Conservation et restauration de deux embarcations gallo-romaines mises au jour à Yverdon-les-Bains* (canton de Vaud, Suisse), Lausanne
- MURDOCK, L. D. (1978): "A stainless steel PEG treatment tank for conservation of waterlogged Wood", *Studies in Conservation* 23, London, 69-75.
- NIETO, J. et alii. (1989): *Excavacions arqueològiques subaquàtiques a Cala Culip (I)*, Girona.
- NIETO, J. y PUIG, A. M. (2001): "Excavacions arqueològiques subaquàtiques a Cala Culip.3", *Culip IV: la Terra Sigil.lata decorada de la Graufesenque*, Girona.
- PEARSON, C. (1981): "The use of PEG for the treatment of waterlogged wood. It's past and future". *International Symposium on the Conservation of Large Objects of Waterlogged Wood*, 51-56.
- PEARSON, C., (1984): *La sauvegarde du patrimoine subaquatique*, Paris.
- PUJOL I HAMELINK, M. (1991): *El derelict medieval Les Sorres X, Castelldefels (Baix Llobregat), Exocetus Volitans* 4, 9-10.
- PUJOL I HAMELINK, M. (1992): *Les Sorres X, une épave du XV^{ème} siècle en Catalogne*, Neptunia, 186.
- ROBINSON, W. S. (1981): *First aid for marine finds*, Basildon.
- SAWADA, M. (1984): "Some problems of setting of PEG 4000 impregnated in wood", *Proceedings of the 2 ICOM Waterlogged Wood Conference*, Grenoble, 117-124.

Notas

¹ La réplica en silicona la realizó P. Torras Monzó.

² Análisis realizados por F. Guibal.

³ Análisis realizados por F. Guibal.

⁴ Determinaciones realizadas por R. Piqué.

PROBLEMÁTICA Y SITUACIÓN ACTUAL DE LA ARQUEO- LOGÍA SUBACUÁTICA EN LA BAHÍA DE CÁDIZ

Josefa MARTÍ SOLANO

Nuria E. RODRÍGUEZ MARISCAL

Centro de Arqueología Subacuática. Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico

Avda. Duque de Nájera s/n, 11004 Cádiz

josefa.marti@juntadeandalucia.es

nuria.rodriguez.mariscal@juntadeandalucia.es

Introducción

Con objeto de ofrecer una visión clara de la situación actual en la que se encuentran los estudios sobre arqueología llevados a cabo en el medio subacuático de la Bahía de Cádiz, junto con la problemática que ello supone y a la que se enfrenta el arqueólogo al abordar labores de investigación *in situ*, creemos conveniente seguir un guión establecido a través de apartados íntimamente relacionados, que facilitará al lector un acercamiento a la comprensión tanto geográfica como histórica de este entorno que nos ocupa.

De este modo, comenzamos ofreciendo una breve descripción geográfica de la Bahía de Cádiz para mostrar el escenario donde se han ido desarrollando los momentos históricos más relevantes, que han definido el devenir cultural de la zona, haciendo hincapié en la época antigua, quizás la más desconocida de todas en cuanto a la escasez de documentación escrita al respecto. Posteriormente se ha tratado de sintetizar los factores físicos que han modificado ostensiblemente el paisaje geográfico, desde los primeros indicios de población hasta la actualidad y que condicionan hoy día considerablemente el desarrollo de los trabajos arqueológicos subacuáticos en este ámbito. Para comprender la evolución geológica que afecta a la Bahía hemos optado por dividirla en sectores, atendiendo a las peculiaridades intrínsecas de cada uno de ellos, y analizando en cada sector por una parte los yacimientos arqueológicos detectados y por otra, la información tanto documental como oral de la que se dispone.

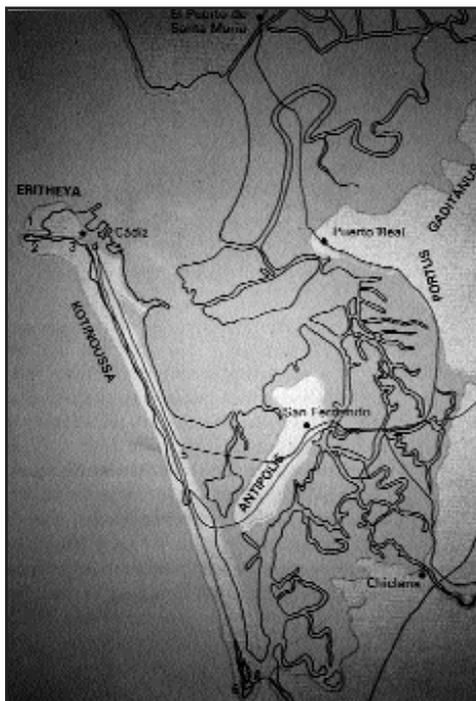
Descripción del entorno geográfico

La Bahía de Cádiz, situada al suroeste de la provincia, se constituye en la actualidad sobre el gran estuario formado por el río Guadalete. Sus límites comprenden una zona marítima jalonada por diversas poblaciones: Rota, Puerto de Santa María, Puerto Real, San Fernando y Cádiz. La bocana de entrada a este espacio natural, con un ancho de 5,5 millas, se perfila entre Punta Candor al norte (Rota) y la de San Sebastián al sur (Cádiz).

El marcado carácter de insularidad que caracteriza este entorno viene determinado por una isla, en la que hoy día se asienta la ciudad de Cádiz, que se adentra en el océano unos 9 kilómetros cuadrados cuando la marea está baja. Esta isla queda unida a otra, la Isla de León, a través de un estre-

cho cordón arenoso litoral que sirve de puente con el continente.

Este marco natural que podemos observar en la actualidad es el resultado de una intensa evolución geológica, cuyas consecuencias analizaremos posteriormente, siendo muy diferente al que se conocía en la antigüedad. Según las fuentes clásicas, parece ser que existía un archipiélago gaditano compuesto por tres islas o islotes de distintas dimensiones, emplazado en el centro de esta ensenada natural que forma, como hemos citado anteriormente, la desembocadura del río Guadalete. Dos de ellas estarían separadas por un canal (al noroeste se ubicaría la que pudiera corresponder a la primitiva Erytheia y al sureste otra alargada que se identificaría con la Cotinussa o "la isla de los olivos silvestres"), la tercera isla, de mayores dimensiones que las anteriores correspondería a la actual Isla de León (San Fernando), denominada Antípolis en época romana (FIERRO CUBIELLA, 1993: 13, 42).



Paleotopografía de Cádiz (MARTÍN RUIZ, 1995: 27)

Visión Histórica

Este entorno ha desempeñado, a lo largo de la Historia, un importante papel; por una parte como cabeza de puente entre los continentes africano y europeo y por otra como nexo de unión entre dos mares, favoreciendo que el área gaditana fuera considerada tradicionalmente núcleo receptor e impulsor de relaciones culturales y mercantiles.

Esta privilegiada situación geográfica es la causa de que los dos momentos de máximo auge que, desde el punto de vista histórico se han dado en la Bahía de Cádiz, estén íntimamente relacionados con el comercio marítimo.

Se tiene constancia de la presencia de hábitat pertenecientes a diversas etapas de la Prehistoria a través de los restos arqueológicos localizados en distintos puntos de la Bahía. Estas poblaciones pervivirán en la zona hasta la llegada de los colonos orientales.

Existe una importante polémica acerca de cuándo se produce la primera oleada fenicia y la posterior fundación de Gadir. Las fuentes escritas no coinciden con los restos arqueológicos a la hora de determinar cronológicamente este acontecimiento. Tampoco existe un acuerdo tácito sobre el emplazamiento exacto ni de la ciudad de Gadir ni de sus famosos templos Kronión,

Herakleión y Astarté o Venus Marina, a pesar de las distintas interpretaciones que hay sobre las fuentes clásicas al respecto. Lo que sí parece claro es que la presencia fenicia, dependiente en un principio de la metrópolis de Tiro, respondía a intereses puramente mercantiles. Encontraron en este espacio natural un lugar idóneo y estratégico para el control de las rutas comerciales, iniciando un profundo proceso de transformación de las sociedades que habitaban estos parajes y fomentando nuevas vías de relaciones con Oriente.

Se desconoce el momento concreto del abandono de las colonias fenicias en Gadir y de cuándo este entorno entró a formar parte de la influencia cartaginesa. La llegada de estos últimos a la península, con el objeto de recuperar sus antiguas colonias fenicias, parece estar fechada en torno al siglo V-IV a. C. El dominio absoluto de la zona responde a los resultados del segundo tratado firmado entre romanos y cartagineses en el año 348 a. C., en el que se reparten las áreas de influencia de cada potencia en el Mediterráneo.

El papel que juega Gadir en todo este proceso es el de abastecedora de contingentes humanos y recursos económicos al ejército cartaginés para reanudar la lucha contra los romanos. Una vez fundada Cartago-Nova en el 227 a. C., este enclave queda relegado a un segundo plano. Durante la expedición de Aníbal Barca a Italia para hacer frente a los romanos en su propio territorio, Gadir, agotada frente a la sangría a la que estaba siendo sometida, aprovecha esta ausencia para pactar con Roma la entrega de la ciudad.

Ésta pasa a denominarse Gades cuando en el año 206 a. C. entra a formar parte de la órbita romana en la península ibérica. En el año 27 a. C. se da por finalizado un ciclo de guerras y comienza un periodo de paz, en el que las distintas poblaciones de la Bahía de Cádiz viven una de las etapas de mayor esplendor de su historia, caracterizado por un importante desarrollo económico y comercial. Este proceso se ve beneficiado en gran parte por su situación estratégica como punto clave entre dos mundos, el conocido (mar Mediterráneo) y el desconocido (océano Atlántico).

Es en este momento cuando Gades se convierte en una de las ciudades más importantes de la Hispania y del Imperio romano en Europa. La presencia romana en la zona reforzará las transformaciones en cuanto a costumbres y modos de vida se refiere, llevando consigo la consolidación de la Bahía como un núcleo de alto valor económico y comercial, exportando productos tan valorados como el aceite, el vino y las salazones de la Bética.

Tras los primeros siglos del Imperio romano, la ciudad conservó esta próspera actividad comercial para después comenzar una progresiva decadencia en el s. IV de la que no se recuperó hasta finalizada la Edad Media. La falta de referencias documentales de época árabe muestra la escasa importancia que la ciudad y su entorno tuvieron como núcleos urbanos, reduciéndose la población a una pequeña agrupación de pescadores y sus contactos a unas limitadas relaciones con el norte de África.

En el año 1260 la ciudad de Cádiz es conquistada por Alfonso X el Sabio que planificó convertirla en base de sus aspiraciones imperialistas en el norte

de África. Con el tiempo, estos proyectos no llegaron a concluirse y la Bahía quedó de nuevo reducida a la explotación de los recursos marinos. Los comerciantes genoveses, aprovechándose de la excelente situación geográfica de la zona para el control del comercio, comienzan a instalarse en la ciudad y en su entorno creando una auténtica burguesía mercantil. La ciudad empieza a crecer extendiéndose en todas direcciones.

Ya en el s. XV los Reyes Católicos fundaron la ciudad de Puerto Real. Una Real Cédula promulgada en esa época le otorgaba la exclusividad mercantil. Con el descubrimiento de América, la Bahía de Cádiz vivirá, desde el punto de vista histórico, su segunda época dorada, ya que este acontecimiento fue trascendental para un nuevo auge económico. El puerto de Cádiz participó desde el primer momento en las relaciones entre España y América partiendo desde aquí dos de los cuatro viajes de Colón. (ALONSO DE LA SIERRA, 1995: 15).

La gran prosperidad alcanzada fue la causante del asalto anglo-holandés que en 1596 asoló la ciudad. El comercio se vino abajo y los mercaderes se marcharon a otras ciudades. A pesar de ello asistimos en el s. XVII a un enorme despegue económico consecuencia directa del paulatino traslado de la actividad comercial con América desde Sevilla a Cádiz. Este proceso finalizó en el año 1717 cuando Felipe V tomó la decisión de transferir definitivamente la Casa de Contratación y el Consulado de Indias de una ciudad a otra.



Bahía de Cádiz durante el ataque anglo-holandés dirigido por el Conde de Essex, 1596.
Biblioteca Nacional de Francia

Por otra parte, y tras el asalto anglo-holandés en 1596, la población tomó conciencia de la vulnerabilidad del entorno gaditano ante cualquier ataque naval. Consecuentemente se optó por reconstruir la ciudad y por llevar a cabo la fortificación de la misma y de sus alrededores mediante una serie de defensas proyectadas por los mejores ingenieros militares de la época. La obra no se culminó hasta el siglo XVIII, momento en el que Cádiz y su Bahía se convirtieron en una de las plazas fuertes más importantes de la Península, adquiriendo un doble carácter mercantil y militar.

El s. XIX se inicia con dos importantes acontecimientos, la Guerra de la Independencia y la reunión de las Cortes Generales que elaboraron la Constitución de 1812. El desarrollo histórico de este entorno hasta nuestros días ha estado fuertemente ligado a los movimientos progresistas que se han ido sucediendo a lo largo de los últimos siglos, con la participación en la política nacional de algunos importantes gaditanos.

Evolución geológica del medio físico: consecuencias sobre las investigaciones arqueológicas

Es evidente que la geomorfología de la Bahía ha sufrido a lo largo del tiempo una progresiva transformación, configurando el paisaje que hoy día conocemos. Este fenómeno ha ido determinando el emplazamiento poblacional en cada periodo histórico, la explotación de recursos naturales y las relaciones entre las distintas comunidades.

Los cambios naturales del entorno, además de producirse a raíz de unos condicionantes físicos determinados, que describiremos brevemente más adelante, han contado con el hombre como factor antropizador del medio, acelerando con sus actuaciones estos procesos naturales. La conjunción de ambos factores determina y condiciona el desarrollo de las investigaciones arqueológicas en estas aguas.

Los trabajos arqueológicos que se llevan a cabo en la vertiente atlántica tienen, por lo general, una clara contraposición desde el punto de vista de los condicionantes físicos con respecto a los que se realizan en aguas mediterráneas: visibilidad, corrientes, mareas... Si a éstos añadimos las peculiaridades de una Bahía como la gaditana, con una dinámica interna propia, nos encontramos con muchas dificultades a la hora de plantearnos la ejecución de los trabajos. Son los condicionantes que a continuación se describen (LLAVE BARRANCO, 1998: 11-17) los que van a determinar las pautas técnicas a seguir en las intervenciones arqueológicas y los que van a imponer un ritmo propio de trabajo.

Características oceanográficas:

a.- Vientos: son predominantes los de levante y poniente. Destacan por su elevada intensidad y potencia, tanto como agentes generadores de oleaje como por su efecto erosivo y de transporte.

b.- Oleaje: la dimensión y la intensidad de las olas producidas por los vientos locales y el oleaje originado en alta mar influyen directamente sobre la evolución de la costa. Los vientos de poniente son importantes por la

generación de oleaje de alta energía, mientras que los de levante destacan por el elevado ángulo de incidencia con el que actúan sobre el litoral.

c.- Mareas: son de gran relevancia, especialmente en el saco interno, puesto que gran parte de las peculiaridades de la Bahía se deben a su flujo-reflujo.

d.- Corrientes: la de tipo alternativo se da en todos los caños y en la Canal de entrada al puerto. Cuando la marea crece toma un sentido y cuando vacía, el opuesto, siempre ambos en línea recta. El tipo giratorio viene a producirse describiendo formas semicirculares, adaptándose al obstáculo que supone la línea de costa.

1) Características geológicas:

Las primeras hipótesis sobre el origen geológico de la Bahía se deben a Gavala y Laborde, que explican su formación a partir de los estuarios de los ríos Guadalquivir y Guadalete. El factor que nos interesa estudiar de forma particular puesto que afecta a los yacimientos arqueológicos, es el de la sedimentación, en la que intervienen los siguientes factores:

- 1.- la influencia de la morfología sobre las características hidrodinámicas
- 2.- la fuerte incidencia de las corrientes mareales sobre todo en el saco interior y sectores periféricos de la bahía externa
- 3.- los temporales, especialmente los del NO-SE y levante, que originan corrientes litorales paralelas a la costa.

Para poder analizar de manera interrelacionada los fenómenos físicos, junto con las características geomorfológicas de la Bahía gaditana y la información arqueológica, hemos creído conveniente una parcelación por sectores.

Sectorización de la Bahía de Cádiz

Para la mejor comprensión del área de estudio se definirán tres zonas geográficas dentro de la Bahía, basándonos en aquellas peculiaridades de cada una de ellas que las individualizan.

1. Sector interno:

Se encuentra situado al sur del estrechamiento que se produce entre los bajos de Las Cabezuelas (Puerto Real) y las costas orientales de Cádiz, al sur del puente Carranza.

Pocos datos históricos concretos podemos adscribir a este sector, puesto que por reconstrucciones del paisaje esta zona debió de estar muy influenciada por la existencia de caños y zonas húmedas. Las poblacionales desde la antigüedad han buscado zonas propicias para establecerse, como la desembocadura de ríos como el Guadalete o las condiciones estratégicas que presentaba en este caso la ciudad de Cádiz.

Los datos arqueológicos de los que disponemos en la actualidad en este sector corroboran este planteamiento. Apuntar que las características de las tierras que bordean este espacio han permitido desde la antigüedad el desa-

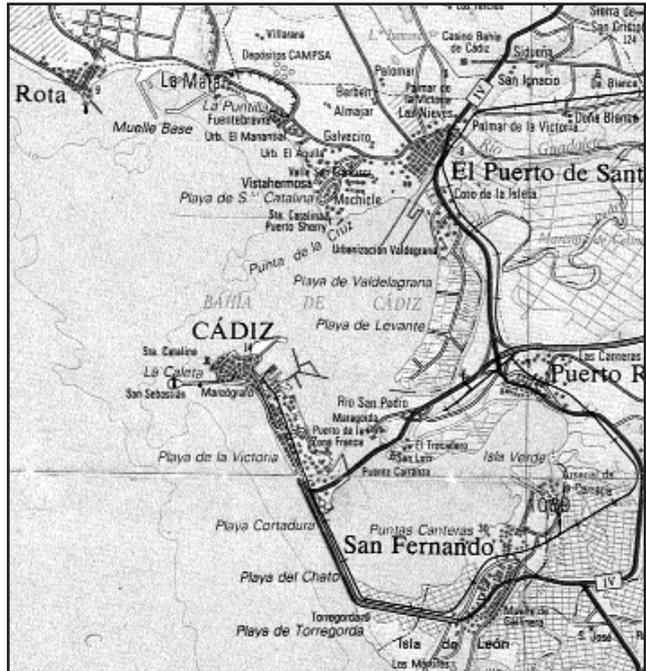
rollo de una importante industria alfarera. En este sentido son destacables los hallazgos de hornos fenicio-púnicos de Camposoto, Torre Alta y Pery Junquera en el término municipal de San Fernando, antigua Isla de León. En época romana las principales producciones alfareras se localizan en el municipio de Puerto Real, con hallazgos abundantes de hornos para la fabricación de envases destinados a contener salazones, aceites y vinos.

Del periodo medieval, como hemos mencionado anteriormente, apenas tenemos datos que nos permitan acercarnos a la realidad de esta etapa histórica. Aunque la actividad económica decreciese considerablemente frente al desarrollo alcanzado durante la etapa romana, ésta seguiría produciéndose en torno al mar. Los pequeños hábitats dispersos irían adaptándose a las posibilidades de explotación del suelo y de los recursos que ofreciese el entorno marino. (SÁNCHEZ HERRERO, 1981: 95-102)

El sector interno, al ser la zona más preservada de la Bahía, debió constituir un núcleo de refugio para embarcaciones en etapas de hostilidades, ya que éstas quedaban protegidas ante cualquier eventualidad climatológica o bélica.

En época moderna comienza a despuntar el desarrollo de la industria de construcción naval y el mantenimiento de navíos. Desconocemos desde cuándo estaba en uso el llamado "Carenero Real", a los pies del Caño de Sancti-Petri, pero se menciona ya en el siglo XVI funcionando como tal hasta 1724, siendo el punto de partida de las construcciones posteriores de los arsenales de La Carraca y Matagorda. (QUINTERO GONZÁLEZ, 2000: 42-48)

La realidad arqueológica de esta zona sólo es explicable desde el estudio del medio físico, su evolución y su incidencia directa sobre los yacimientos. Para analizar este hecho vamos a intentar hacer una valoración de los datos disponibles en la actualidad:



Sectorización de la bahía de Cádiz:
 1- Sector interno; 2- Sector de conexión entre la bahía interna y externa; 3- Sector externo: 3.1. zona oriental; 3.2.- zona occidental

- 1.- No hay constatación de ningún yacimiento arqueológico subacuático en este sector.
- 2.- Son prácticamente inexistentes los hallazgos aislados de cultura material.
- 3.- Se carecen de referencias orales que hablen de la existencia de posibles yacimientos arqueológicos en agua.

¿Se puede explicar de alguna manera esta ausencia de datos? Puede que la clave se encuentre el continuo proceso de sedimentación al que se ha visto sometida este área, repercutiendo negativamente en el conocimiento que tenemos desde la perspectiva arqueológica.

Si intentamos poner en relación directa la importancia histórica de esta zona atestiguada por los abundantes datos arqueológicos terrestres frente a la escasez de los hallazgos en el agua, se puede llegar con facilidad a la conclusión de que los yacimientos subacuáticos deben hallarse sepultados bajo una capa importante de sedimentos.

Varios factores pueden esquematizar este proceso de acelerada colmatación:

1.- Factores físicos: La sedimentación se ve favorecida por las características físico-geológicas del sector, por su posición alejada de la influencia del mar abierto, por los aportes de materiales limosos procedentes especialmente del Río Guadalete y de los caños y marismas, que tienden a depositarse en esta especie de "estanque natural"

2.- Factores antrópicos: La intervención del hombre sobre el medio ha potenciado el progresivo desecamiento del sector interno (QUINTERO GONZÁLEZ, 2000: 36-42), con acciones como:

- Modificaciones de los pasos naturales del agua. Es el caso de la construcción del Puente Suazo, levantado sobre los pilares que servían de apoyo a la tráda del acueducto romano. En el siglo XVI se realizan importantes reformas de carácter arquitectónico tomando de base los restos de los pilares de factura romana. Durante su construcción, y ante la falta de firme para cimentar, se optó por ir arrojando sobre el cauce gran cantidad de piedra, hasta poder levantarlo, lo que supuso la formación de un muro submarino que influyó en la dinámica de mareas, repercutiendo en importantes cambios en los aportes sedimentarios, con máxima incidencia en la zona del saco interno.

- Hundimiento intencionado de barcos para obstaculizar la entrada de escuadras enemigas. Entre los años 1558 y 1596 se produce la invasión inglesa, hundiéndose dos barcos en el Trocadero, cinco en la entrada del estero de La Carraca, cuatro en el interior, tres fragatas en Sancti-Petri, una cerca de Puerto Real y otra en el canal frente a Puntales. Los barcos constituían rápidamente un punto de acumulación de sedimentos, provocando una disminución de calados e impidiendo la entrada de buques enemigos.

- La desecación de marismas, que aumentó de manera importante a principios del siglo XIX con la instalación de salinas que iban provocando la obturación de los caños.

Los resultados de este proceso de colmatación pueden verse en determinados yacimientos arqueológicos relacionados con las vías marítimas: los alfares de San Fernando se abandonan y toma el relevo la orilla de Puerto Real para época romana, hoy alejados del agua. Se menciona que a Puerto Real llegaban *carracas*, *naos* y *galeras*. La carraca era la embarcación de mayor porte en tiempos de Alfonso X el Sabio. Todavía a mediados del siglo XVIII atracaban bergantines, algo inimaginable hoy día

Como conclusión y desde el punto de vista arqueológico, no es factible en principio que se produzcan intervenciones en este sector. De llevarse a cabo estarían relacionadas con la ejecución de obras de infraestructuras. Las acumulaciones de limos y el escaso movimiento de aguas dificultarán extraordinariamente el desarrollo de futuros trabajos arqueológicos.

2. Sector de conexión entre la bahía interna y externa:

Se encuentra limitado al norte por el Muelle de las Cabezuelas y al sur por el puente Carranza. Se trata de un sector muy erosionado por los dragados llevados a cabo en el canal de navegación que comunica el Muelle con la Bahía externa e interna.

La segmentación de esta zona denominada por nosotros "sector de conexión" responde más a factores físicos que a argumentaciones históricas. Este espacio debió ir a remolque de los acontecimientos generales que acontecieron en la Bahía gaditana estableciéndose en este punto el nexo de unión entre lo que podríamos denominar "dos bahías".

Se trata de un lugar de paso donde se interrelacionan ambas áreas, constituyendo el punto más cercano entre las dos orillas. Este hecho es importante porque condicionó su evolución a partir de las necesidades defensivas que fueron necesarias emprender tras los sucesivos asaltos navales a las ciudades de la Bahía.

Para la organización de las defensas se realizaron una serie de construcciones encaminadas a garantizar la seguridad ante posibles ataques (baluartes, baterías...). Destacar aquí la batería de San Lorenzo del Puntal, que junto con la de Matagorda cierran y defienden el canal de acceso al interior de la Bahía. En sus inmediaciones fondearían embarcaciones de todo tipo siendo bastante probable la existencia de naufragios.

Las evidencias arqueológicas en sector son también muy limitadas. De época fenicio-púnica sólo tenemos constancia de hallazgos aislados y descontextualizados. Más frecuentes son los restos de cronología romana, tanto aislados como procedentes de un posible pecio en la zona del Río San Pedro, que debió utilizarse en tiempos pretéritos como vía de conexión marítima. En la actualidad, las obras de infraestructuras han hecho variar la dinámica de este espacio, provocando la pérdida de arena en la orilla del término de Puerto Real y la deposición en la orilla contraria, destapando fragmentos de ánforas Dressel 8 y 20.

Por referencias de varios buceadores que participaron en la construcción del puente Carranza conocemos la existencia de un barco romano del s. I d.

C. que fue atravesado durante las obras por uno de los pilares.

Cabe destacar el triángulo comprendido entre la desembocadura del Caño del Trocadero, el fuerte de San Luis y el puente Carranza por la abundancia de restos cerámicos que aparecen en sus inmediaciones, perteneciendo la mayoría a época moderna.

En 1987, durante las obras de construcción de los muelles de Las Cabezuelas (Puerto Real) la draga que realizaba los trabajos localizó los restos de un barco bajo una capa de fangos de unos 6 metros, sacando a la superficie grandes tablazones de madera forradas de cobre con clavos y pernos de bronce. Se llevaron a cabo trabajos arqueológicos, aunque no apareció ningún otro material arqueológico asociado que pudiese ayudar a su datación. Por las características de construcción se estimó que pudiese tratarse de una embarcación de finales del siglo XVIII o primeros del XIX.

La aparición de algunos hallazgos arqueológicos aislados en este sector debe ponerse en relación directa con la realización de obras de infraestructuras o con acciones antrópicas que han variado la dinámica litoral. Como consecuencia de esta variación se produce una limpieza puntual de los fondos que dejan al descubierto vestigios del pasado. La Guardia Civil ha efectuado tres requisas de materiales en los últimos años, perteneciendo la mayoría de los restos a época moderna.

En este sector, como ocurre en el saco interno de la Bahía tampoco es probable que realicen intervenciones arqueológicas. De llevarse a cabo también estarían relacionadas con la ejecución de obras de infraestructuras. En estos momentos es el Muelle de las Cabezuelas el que está absorbiendo el crecimiento en los puertos de la Bahía y es aquí donde es factible que se produzcan nuevos hallazgos asociados a los movimientos de tierras.

3. Sector externo:

Para una mejor comprensión de este amplio espacio se ha optado por dividirlo en dos zonas: la oriental y la occidental.

3.1 Zona oriental

Se encuentra situada en la parte central de la Bahía de Cádiz. Limita al norte con la línea hipotética trazada desde el Castillo de Santa Catalina (Puerto de Santa María) hasta los arrecifes naturales de la Punta del Sur (Cádiz), y al sur con el denominado sector de conexión. Está atravesada por un canal artificial cuyo calado se ha venido manteniendo en las últimas décadas a base de dragados, con el objeto de facilitar la navegación hasta las zonas portuarias y el saco interno. En estas obras es habitual la extracción de materiales descontextualizados predominantemente de época moderna.

La evolución geomorfológica que observamos en este sector en concreto ha supuesto un paisaje totalmente opuesto si comparamos ambas orillas. En la parte norte asistimos a un proceso de sedimentación evidente protagonizado por los aportes fluviales del río Guadalete. Desde el punto de vista arqueológico y debido al alto nivel de colmatación que soporta, sólo aparecen materiales durante la ejecución de obras de dragado.

En contraposición, en la orilla sur presenciamos los efectos del viento y el oleaje responsables de la grave abrasión que ha afectado a la costa. Si hacemos una breve revisión de las intervenciones arqueológicas subacuáticas que se han llevado a cabo en el entorno de la Bahía podremos apreciar que el 90% de las mismas se han centrado en los bajos rocosos de La Caleta en Cádiz. Su elección no es arbitraria, estando directamente relacionada con la dinámica litoral. Mientras que en el resto de la Bahía los posibles vestigios arqueológicos se encuentran ocultos bajo una importante capa de sedimentación, en la zona de abrasión han estado, a lo largo de los siglos, expuestos al mar. En los casos más graves los efectos de la abrasión han llegado a arrasar algunos yacimientos en su totalidad, perdiéndose para siempre la información histórica que encerraban.



Trabajos de dragados en la Bahía de Cádiz

Consecuentemente, la mayoría de yacimientos que se conocen se encuentran enmarcados en este área de La Caleta y los bajos rocosos que la rodean (RODRÍGUEZ MARISCAL y MARTÍ SOLANO, 2001: 75-82). La complejidad de este espacio, debida en gran parte a la dificultad de contrastar la abundante información procedente tanto de fuentes documentales como orales, nos obliga a describir los yacimientos arqueológicos subacuáticos agrupándolos por períodos cronológicos.

Los episodios más relevantes que tuvieron como escenario el medio marino de este sector en época fenicio-púnica fueron:

-La ubicación del puerto fenicio en La Caleta como se cita en algunas fuentes clásicas. Es posible que en este momento se hiciera patente el cegamiento de este canal uniendo las antiguas islas de Cotinussa y Erytheia, donde al parecer se localizarían los célebres templos dedicados al culto de los dioses tirios Melqart y Baal-Hammón.

-La batalla naval de Therón, incidente bélico descrito por Macrobio en el siglo IV a. C.. Tuvo lugar frente al templo de Melqart y enfrentó al rey Therón contra los gaditanos quedando vencedores estos últimos (FIERRO CUBIELLA, 1993: 62).

Los yacimientos arqueológicos que conocemos adscritos a este periodo son:

-Bajo del Chapitel. Se han detectado restos arqueológicos, principalmente cerámicos, dispersos en unos fondos rocosos y arenosos: varios tipos de ánforas, quemaperfumes, pithois y material diverso muy fragmentado conforman este yacimiento.

-Punta del Nao. Se trata de un yacimiento que, por sus características, presenta una gran complejidad a la hora de determinar su naturaleza tanto espacial como tipológicamente. Se observa en superficie material disperso de distinta cronología. Sin embargo, las piezas más significativas que se han recuperado pertenecen a la época fenicio-púnica: varias estatuillas femeninas, discos solares, quemaperfumes, prótomos egipcizante y negroide y un *thymiaterium* o vaso trípode, desconociéndose si este material pudiera corresponder al cargamento de algún navío naufragado o a actos rituales en los que se arrojaban ofrendas desde el borde del cantil más próximo donde estarían ubicados los templos.

-Pecio Púnico del Canal de la Caleta. Este yacimiento se define como una concentración de material anfórico púnico semienterrado y aparentemente en bastante buen estado de conservación. Se ha localizado un ánfora tipo S-11 y otra del tipo T-9.1.1.1. Si formasen parte de un mismo cargamento, la cronología apuntada por este material estaría entre el siglo V y el III a. C., no descartándose la posibilidad de que se tratara de hallazgos totalmente independientes uno de otro.

En época romana el puerto se desplaza desde la Caleta al interior de la Bahía, a la cara opuesta de la ciudad de Gades, por encontrar en esta zona mejores condiciones para el resguardo tanto de temporales como de asaltos navales:

-Entre el 49 a. C. y el 46 a. C. se desarrolla la Guerra Civil entre Cesar y Pompeyo. Gades apoyará a Cesar ofreciendo su puerto como lugar de atraque y refugio de las naves. En esta época hay constancia de la construcción de naves en Gades (FIERRO CUBIELLA, 1993: 72).

-Es en este momento cuando los textos clásicos y árabes recogen la construcción de un gran faro que se ha venido situando tradicionalmente en la Punta de San Sebastián (LASTRA y TERRY, 1980: 26).

Los yacimientos que han aportado material arqueológico correspondiente a esta época son:



Disco de terracota (MARTÍN RUIZ, 1995: 52)

-Bajo Chapitel. Se observan restos de cerámica común muy mezclados con los de época fenicio-púnica. El material, poco relevante, se encuentra bastante deteriorado, presentando fractura y un acusado rodamiento.

-Cepo romano. Próximo al Bajo del Chapitel se encontró, de manera fortuita, un cepo de plomo de unos dos metros de longitud. El cepo no se hallaba, desde una primera aproximación, asociado a otros restos arqueológicos.

-Pecio de la Sigillata. Sobre un fondo rocoso se descubrieron dos piezas semicompletas de *terra sigillata aretina* estampilladas. Fue-

ron extraídas para proceder a su estudio y tratamiento de conservación y desalinización en los laboratorios del Área de Conservación del Centro de Arqueología Subacuática de Andalucía. Estos hallazgos, datados en el s. I a. C.-s. I d. C., pudieran pertenecer al cargamento de un navío de época romana, sin embargo, esta hipótesis queda pendiente de confirmar.

-El Aculadero. La información oral recopilada apuntaba a la posible existencia de un pecio semienterrado con un cargamento anfórico datado en los siglos I a. C. al I d. C. que, en la década de los ochenta, aún conservaba parte

de su maderamen. De ser cierta la información que se tenía acerca del yacimiento, éste debe encontrarse actualmente bajo un cúmulo de aportes sedimentarios.

-La Albufera. Yacimiento compuesto por una acumulación significativa de ánforas tipo Dr. 20 y Dr. 8, con una cronología que abarca desde el s. I a. C. al III d. C. Este yacimiento se conocía a través de algunas noticias que hacían referencia a la extracción, en el año 1973, de algunos ejemplares que quedaban en superficie con marea baja.

Los datos referentes a la *presencia medieval* son prácticamente inexistentes, no teniendo constancia de acontecimientos de espacial relevancia que deban citarse.

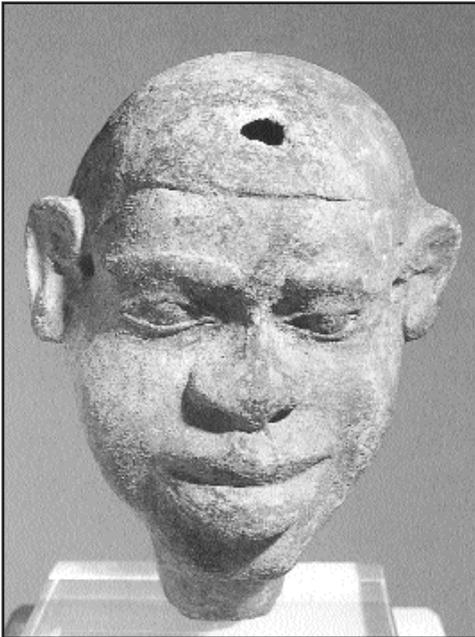
El único yacimiento donde hemos detectado evidencias materiales es el Bajo del Chapitel, donde se recogen algunas muestras de cerámica común: pequeños fragmentos de olla y de jarras.

La época *moderno-contemporánea*, a diferencia de las demás, se caracteriza precisamente por la riqueza de documentación escrita que recoge innumerables acontecimientos históricos en este periodo. Hemos destacado entre otros:

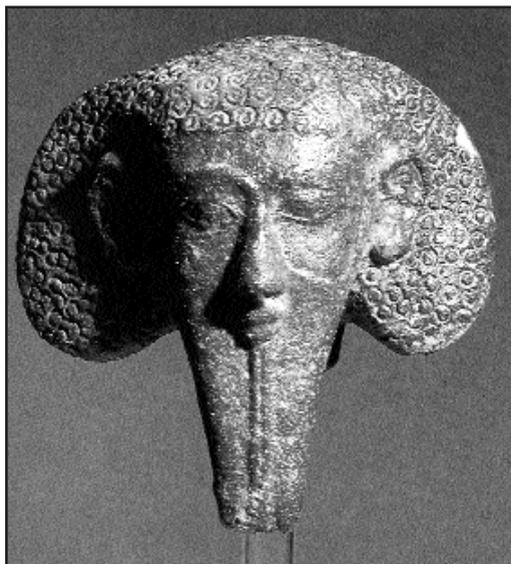
- Las repercusiones del descubrimiento de América en 1492, que abrió las puertas al comercio de ultramar, con el consiguiente movimiento de flotas y mercancías.

- El asalto a la ciudad de Cádiz en 1587 por parte de una flota inglesa a cargo del marino-pirata Francis Drake con el objetivo de retrasar la partida de la Armada Invencible con la que Felipe II pretendía atacar Inglaterra. Drake hundió varias galeras que le salieron al encuentro.

- En 1596, asalto anglo-holandés al mando del conde Essex y del varón Effingham. En este asalto se destruyó casi en su totalidad la ciudad ardiendo



Terracota negroide (MARTÍN RUIZ, 1995: 161)



Prótomo egiptizante (MARTÍN RUIZ, 1995: 162)

doscientas noventa casas, la Catedral y otros edificios de relevancia.

- En 1625, tercer asalto inglés a la ciudad con la colaboración de nuevo de los holandeses.

- En 1702, ataque a Rota y otros puntos de la Bahía de Cádiz con motivo de la Guerra de Sucesión Española.

- Asedio de las tropas napoleónicas a la ciudad de Cádiz entre 1810 y 1812.

Los yacimientos más destacables son:

- Bajo del Chapitel. En este entorno se localizan, hasta el momento, unos quince cañones de hierro que, dispersos a lo largo de una laja de piedra en contacto con la arena, se acompañan de diversos restos metálicos cuya identificación no ha sido posible debido al grado de concreción que sufren. Se ha podido precisar en todo caso que el material cerámico correspondiente a este momento cronológico es muy escaso.

- *Boucentaure I*. Se trata de los restos de un navío que la tradición oral relaciona con el barco francés *Le Boucentaure*, hundido en la Bahía de Cádiz tras la Batalla de Trafalgar en 1805. Sin embargo este dato aún está por contrastar. De la estructura del barco se aprecian bajo el agua parte de la quilla y algunas cuadernas además de un ancla, cinco cañones de hierro y otros objetos metálicos dispuestos entorno a las maderas. (LAKEY, 1987: 182-191)

- *Boucentaure II*. Yacimiento definido por la existencia de un ancla, de tipo almirantazgo, un conjunto de ocho cañones y material metálico no identificado. Los restos se localizan relativamente dispersos en una zona muy próxima al yacimiento denominado *Le Boucentaure I*, al que anteriormente hemos hecho referencia. Actualmente el yacimiento se encuentra en un proceso de análisis con el propósito de confirmar si los restos localizados pudieran corresponder al citado navío francés.

- Anclas metálicas del Bajo de La Olla. Se han posicionado dos anclas de hierro que podrían estar en relación con los restos de los pecios denominados *Le Boucentaure I* y *II*. No descartamos la hipótesis de que la situación actual de estas anclas respondieran al resultado de maniobras extremas de fondeo ante el peligro de las embarcaciones a ser arrojadas por los temporales contra estos bajos rocosos.

- Piedras de Molino. Yacimiento compuesto por una serie de piedras talla-

das en formas circulares y semicirculares en distintos tamaños y dispuestas muy cercanas unas de otras. Posiblemente procedan de la zona de cantera de los bajos de la Punta del Nao. Aparecen también fragmentos de bocas de anforiscos que probablemente no estén asociados a estos restos. Se han hallado, del mismo modo, tres piedras de molino de gran tamaño en las que la perforación central es evidente. Su cronología es indeterminada.

Existe una serie de elementos arqueológicos que no podemos encajar en un momento determinado de la Historia ya que su uso ha tenido una gran pervivencia a lo largo de distintas etapas. Nos referimos a los numerosos hallazgos de elementos de fondeo que se han localizado. No cabe duda acerca de la existencia de un fondeadero que desde época fenicia se ha venido utilizando hasta nuestros días. Esta ensenada y los bajos rocosos de su entorno han ofrecido a los navegantes unas condiciones aptas de seguridad para el resguardo de temporales. De hecho, recordemos que los fenicios y cartagineses escogieron estos parajes para emplazar su puerto.

Aunque sea frecuente la localización de piezas de fondeo dispersas en toda la zona, cabe destacar una agrupación de anclas de piedra de distintas formas y tamaños situadas en el Bajo de La Olla, muy cercana a la Punta de San Sebastián.

3.2.- Sector occidental

Se localiza en el triángulo formado por los vértices de Punta Candor (Rota), el castillo de Santa Catalina (El Puerto de Santa María) y la Punta del Sur, en los bajos rocosos del castillo de San Sebastián (Cádiz).

Desde el punto de vista histórico esta zona ha tenido poca trascendencia individual, siguiendo el curso general de los acontecimientos acaecidos en la Bahía desde época antigua hasta la actualidad.

Las características geológicas la hacen menos partícipe de la problemática que hemos expuesto para el resto de los sectores, ya que se trata de un espacio más abierto, donde el contacto con las aguas oceánicas permite un flujo normal de corrientes y mareas. Los fondos son generalmente arenosos, con un nivel de sedimentación mucho menor que en el resto de la Bahía.

Desde el punto de vista arqueológico destacar que es una zona en la que se han realizado pocas intervenciones subacuáticas, siendo muy escasa la información que tenemos al respecto.

Se constata sólo la presencia de un yacimiento: un grupo de cañones localizados en Punta Candor (Rota). Tras las inmersiones se comprobó que no existían otros restos que pudiesen relacionarse con el hallazgo, no siendo posible asociar con ninguno de los datos documentales de naufragios de época moderno-contemporánea que conocemos en esta zona.

Como conclusión decir que resultaría interesante la comprobación de referencias orales que hemos recopilado sobre la existencia de hallazgos de tipo cerámico de época romana y moderno-contemporáneos así como de cañones y restos de maderas en estas costas.



Restos del posible navío *Le Boucentaure I* (LAKEY, 1987: 184)

proceso natural de estratificación. De este modo, los primeros hallazgos con carácter arqueológico que se localizan en las capas más superficiales se corresponden a época moderno-contemporánea, preservándose en capas inferiores los restos más antiguos. Como ejemplo podemos citar el hallazgo del barco de Las Cabezuelas, con una cronología de fines del s. XVIII- principios del XIX, que estaba cubierto por 6 metros de fango.

La zona más propicia para el desarrollo de intervenciones arqueológicas, enmarcada en el sector oriental de la Bahía externa, en la que se vienen realizando la mayoría de las actuaciones desde los años 70, presenta sin embargo un panorama en el ámbito de la investigación muy confuso en lo que se refiere tanto a la tipología como a la naturaleza de los yacimientos descritos.

Ante esta situación el Centro de Arqueología Subacuática de Andalucía, dentro de su programación, se plantea la necesidad de recopilar la documentación existente sobre evidencias arqueológicas y constatar *in situ* la realidad arqueológica. El objetivo que se persigue es ofrecer una visión más clara sobre el desarrollo de los períodos más oscuros de nuestra Historia. De forma paralela se llevarán a cabo las oportunas medidas de protección para evitar el importante expolio que sufren determinados yacimientos.

Frente al panorama descrito en líneas anteriores con respecto al tema de la sedimentación y a la imposibilidad de acceso a los restos que ello supone, plantearnos el hecho de que al menos los yacimientos quedarán protegidos bajo una capa de sedimentación. Paradójicamente éste conserva en muy buen estado los yacimientos permitiendo que lleguen hasta nosotros materiales orgánicos que en otras condiciones habrían desaparecido. Esta información quedará preservada en espera de que las generaciones venideras desarrollen

nuevas tecnologías que permitan acceder y analizar de manera más exhaustiva los restos del pasado.

Bibliografía

- ABREU, P. de. (1996): *Historia del saqueo a Cádiz por los ingleses en 1596*. Universidad de Cádiz, Ed.. Cádiz
- ALONSO DE LA SIERRA, J., ALONSO DE LA SIERRA, L. (1995): *Cádiz: guía artística y monumental*. Sílex, Ed. Madrid.
- BARRAGÁN, J. M. (1987): *Los puertos de la Bahía de Cádiz; entre el determinismo geográfico y el desarrollo de la técnica comercial (1961-1982)*. Diputación de Cádiz, Ed. Cádiz.
- BENOT Y RODRÍGUEZ, E. (1885): *Memoria sobre la limpia de la bahía de Cádiz y con más especialidad del Caño del arsenal*. Imprenta de la Revista Médica, Ed. Cádiz.
- FIERRO CUBIELLA, J. A. (1993): *Historia de la ciudad de Cádiz*, Cádiz.
- GAVALA Y LABORDE, J. (1927): *Cádiz y su bahía en el transcurso de los tiempos geológicos*. Boletín del Instituto Geológico Minero Español 49.
- LAKEY, D. (1987): *Shipwrecks in the Gulf of Cadiz*. Institute of Nautical Archaeology, Ed., 182-191.
- LASTRA Y TERRY, J. de la (1980): *Cádiz Trimilenario (Historia de Cádiz)*. Caja de Ahorros de Cádiz, Ed. Barcelona.
- LLAVE BARRANCO, E. (1998): *Estratigrafía sísmica de las unidades sedimentarias cuaternarias en la bahía de Cádiz. Consideraciones paleoceanográficas*. Universidad de Cádiz, Ed. Puerto Real (Cádiz). Sin publicar.
- MARTÍN RUIZ, J. A. (1995): *Catálogo documental de los fenicios en Andalucía*. Ed. Consejería de Cultura. Junta de Andalucía. Sevilla.
- QUINTERO GONZÁLEZ, J. (2000): *El Arsenal de La Carraca (1717-1736)*, Ministerio de Defensa. Instituto de Historia y Cultura Naval. Madrid.
- RODRÍGUEZ MARISCAL, N., MARTÍ SOLANO, J. (2001): "Actuación arqueológica subacuática en los Bajos al noroeste de la ciudad de Cádiz", *Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico* 36, Sevilla, 75-82.
- SÁNCHEZ HERRERO, J. (1986): *Cádiz, la ciudad medieval y cristiana*. Publicaciones del Monte de Piedad y Caja de Ahorros de Córdoba. Córdoba.

**EL POBLADO NEOLÍTICO DE LA DRAGA.
EXPERIENCIAS DE RECUPERACIÓN Y PRIMERAS
MEDIDAS DE CONSERVACIÓN DE MATERIALES
ARQUEOLÓGICOS EN UN MEDIO LACUSTRE**

Julia CHINCHILLA SÁNCHEZ

Escola Superior de Conservació i Restauració de Béns Culturals de Catalunya
Aiguablava 109-113, 08033 Barcelona
juliachinchi@hotmail.com

El yacimiento

El yacimiento neolítico de la Draga fue descubierto la primavera de 1990 como consecuencia de la remoción de tierras que se hizo en la orilla oriental del lago de Banyoles para convertir esta zona en un parque. Ocupaba una zona hundida, que normalmente quedaba inundada durante el invierno, donde se cultivaban algunos campos y huertos desde mediados del siglo XIX, momento en que se construye la carretera que rodea el lago y un dique artificial en esta orilla para contener las aguas y evitar inundaciones.

Se trata de un poblado al aire libre del neolítico antiguo Cardial, con una datación de finales del VI milenio a. C. Su situación en un ambiente húmedo lo convierte en un yacimiento excepcional, ya que ha permitido la conservación de abundantes materiales orgánicos (postes de construcción, herramientas de madera, fragmentos de cestería, cuerdas...) junto a una enorme cantidad de restos de alimentación, vegetales y animales, que difícilmente se pueden encontrar en una excavación arqueológica en terreno seco (BOSCH, CHINCHILLA, TARRÚS *et alii*, 2000).

En su excavación colaboran el Museu Arqueològic Comarcal de Banyoles (MACB) y el Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya (CASC), que depende del Museu d'Arqueologia de Catalunya. Las campañas de excavación efectuadas hasta el momento se han centrado en tres sectores diferentes: dos de ellos en la zona emergida y el otro dentro de las aguas del lago, en la antigua playa neolítica.

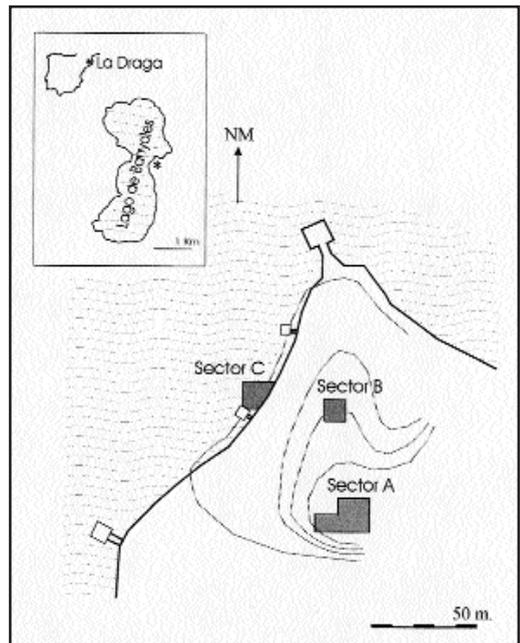


Figura 1: Situación de la Draga (Banyoles, Girona) y topografía del poblado neolítico donde se indican los sectores excavados.

La excavación

La excavación de un yacimiento lacustre, de ambiente húmedo, es siempre compleja y muy distinta a las habituales sobre terreno seco. En el caso de la Draga los problemas más importantes derivan de la cota actual del nivel freático, que cubre algunas partes del suelo arqueológico, aunque afortunadamente este hecho ha permitido la perfecta conservación de los materiales orgánicos. Esta es una característica única de la Draga que no comparte ningún otro yacimiento prehistórico de la península ibérica, mientras que los yacimientos arqueológicos de habitación, con cronologías desde el neolítico, sobre playas lacustres o enterrados en turberas son relativamente frecuentes en el norte y centro de Europa, especialmente en la zona alpina, donde se empezaron a descubrir a finales del s. XIX.

Ya en la primavera de 1990, cuando se tuvo noticia de la aparición de restos arqueológicos en la zona y se realizaron los primeros sondeos para comprobar la cronología y posible extensión del yacimiento, se vio la incidencia del agua en la excavación; las catas excavadas quedaban sistemáticamente inundadas de agua, que fluía del subsuelo al retirar las tierras del nivel arqueológico. Las pruebas con bombas de extracción de agua usadas en pozos no dieron resultados satisfactorios y se vio que era necesario contar con un tipo de bomba más potente que permitiera bajar el nivel freático durante los períodos de excavación. A pesar de estas dificultades, esta primera prospección sirvió para establecer la cronología del yacimiento en el neolítico antiguo y determinar su presumible extensión.

Durante el verano de 1991 se inició una campaña de excavación de dos meses en la zona terrestre más elevada, donde era mayor la presencia de

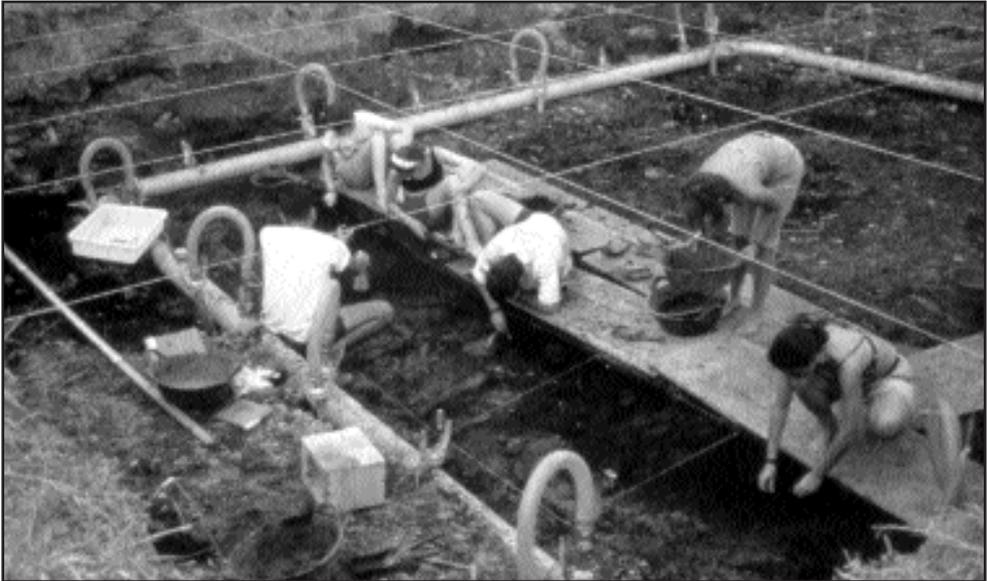


Lámina I : Vista general de la excavación en el sector B durante la campaña de 1997 (fotografía: J. Tarrús).

materiales arqueológicos y menor la afluencia de agua. En esta ocasión se excavó con una bomba Well Point en una extensión de 15 x 16 m. Como resultado de estos trabajos se puso al descubierto un gran número de hogares y de materiales depositados directamente sobre la creta lacustre, en la que además destacaban claramente las marcas de agujeros de postes. Vaciando el sedimento de estos agujeros, se llegó a tocar el extremo superior de los postes, de madera húmeda, a unos 60-70 cm por debajo del suelo arqueológico. El nivel arqueológico en esta zona tenía una potencia de 20-30 cm, y estaba parcialmente afectado por las máquinas de las obras, que afortunadamente pararon debido a que las condiciones del terreno dificultaban su trabajo.

Durante los veranos siguientes 1992 y 1994-1995 se continuó la excavación en esta zona, ampliándola hacia el oeste. Se pudo apreciar una ligera pendiente del suelo original en dirección al lago y, por tanto, una mayor conservación del estrato arqueológico (40 cm). Una vez excavado todo este sector, se realizó una campaña especial dedicada únicamente a extraer los postes clavados. La mayoría de ellos conservaban la corteza y tenían las puntas trabajadas en forma de doble bisel, bisel simple o cónica para facilitar su implantación en la creta lacustre, donde llegaban a alcanzar hasta 2 m de profundidad. Esta zona es la que llamamos sector A.

En las campañas de 1994 y 1995 se incorporó al equipo de excavación el CASC, realizando sondeos dentro del lago, en las zonas más próximas al yacimiento. En esta zona subacuática, que distinguimos como sector C, se recuperaron los primeros objetos de madera. El sistema de excavación utilizado se tuvo que adaptar a las condiciones especiales de un medio lacustre; en este caso además a escasa profundidad y junto a la orilla artificial actual del lago.

En 1996 se realizaron sondeos en la zona terrestre cada 15 m en dirección este-oeste y norte-sur, que pusieron de manifiesto lo que ya se había podido intuir sobre la inclinación del suelo neolítico al norte y oeste en suave pendiente hacia el lago. A partir de esta información, se inició una nueva excavación en una zona más próxima al lago, sector B, que se ha venido excavando entre 1997 y 2002 y esperamos acabar el verano de 2003. Aquí la inclinación original de terreno ha permitido recuperar una gran cantidad de objetos y elementos de construcción de madera, que ocupan un grosor de hasta 40 cm, cubierto completamente por las aguas freáticas. Por el momento se ha excavado una extensión de 75 m².

A partir de los datos obtenidos hasta ahora sabemos que el poblado neolítico ocupaba una extensión de aproximadamente 8.000 m², sobre una superficie con una ligera pendiente de casi 2 m desde las playas neolíticas, hoy en día sumergidas, hasta la zona más elevada del extremo oriental, de manera que el nivel freático se encuentra a diferente profundidad según el punto donde se excave. En las zonas más bajas del yacimiento, las más cercanas al lago, el nivel freático cubre completamente todo el suelo arqueológico, mientras que en las partes más altas, aquél queda muy por debajo. Este hecho tiene importantes consecuencias por lo que respecta a la conservación de los objetos orgánicos.

Las cabañas del hábitat neolítico se dispondrían en hileras siguiendo la orilla del lago, mientras que la zona más elevada se utilizaría para la conservación de alimentos (graneros) y los trabajos comunitarios (fuegos culinarios, fosas de residuos, etc.). La duración del poblado, a partir de los estudios dendrocronológicos de los palos hincados, no parece superar los 100 años.

Los materiales

Los materiales recuperados son los característicos de una excavación del Neolítico Cardial del Mediterráneo occidental, es decir, vasos de cerámica decorada con impresiones, herramientas hechas en piedra (azuelas y molinos trabajados en diferentes piedras, láminas de sílex) y objetos de adorno y otros útiles tallados en concha y hueso. Aunque, como se ha mencionado anteriormente, el hecho que hace a este yacimiento singular es que ha permitido recuperar por primera

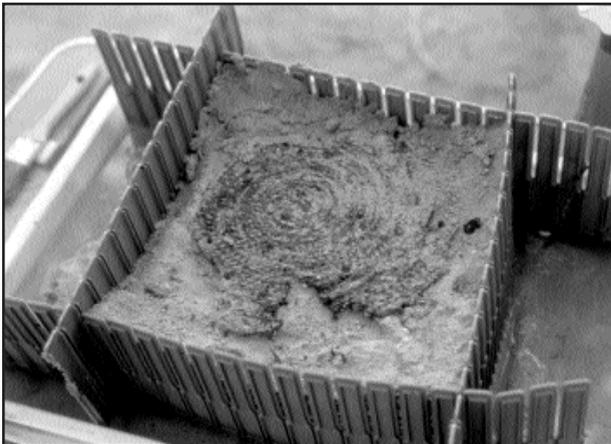


Lámina II: Base de cesto recuperado en la excavación subacuática, sector C, en 1997 (fotografía: J. Tarrús).

vez en nuestro país un gran número de objetos de madera de época neolítica, así como abundantísimos granos de cereales, leguminosas y otros frutos, y una gran cantidad de restos de fauna (buey, cerdo, cabra, oveja, ciervo...), de enorme interés para el estudio de la economía agrícola y ganadera de estos primeros habitantes de la comarca del Pla de l'Estany.

Otro hecho destacable es la perfecta conservación de los postes de construcción clavados en el suelo, que nos van a permitir conocer cómo

eran las cabañas que habitaban y otras construcciones ligadas al poblado (posibles cercados...), así como establecer dataciones relativas a partir del estudio dendrocronológico de los anillos de los árboles empleados, la mayoría de roble, y disponer de madera abundante para realizar los análisis por carbono 14.

Las primeras medidas de conservación en la Draga

Además de los problemas planteados en cuanto a la metodología de su excavación en un medio inhabitual en nuestro país, la Draga ha supuesto también un reto en lo que se refiere al tema de la conservación de los materiales recuperados. El gran número de restos orgánicos, y especialmente los postes clavados y objetos de madera, nos ha obligado a experimentar nuevos tratamientos de conservación adecuados a este tipo de materiales desenterra-

dos, teniendo como referente la actuación en las numerosas excavaciones lacustres de la zona centroeuropea, donde se dispone de una amplia experiencia y bibliografía en lo que se refiere a la recuperación de restos arqueológicos húmedos (MÜHLETHALER, 1973).

Las primeras medidas de conservación han consistido básicamente en mantener los restos arqueológicos húmedos, especialmente los de origen vegetal, y en controlar el secado y efectuar la consolidación de algunos materiales (de cerámica y hueso). Asimismo se ha tenido especial cuidado en facilitar la manipulación de todos los objetos durante su estudio por parte de los distintos especialistas antes de su llegada al taller de restauración.

Lógicamente, desde el momento en que se tuvo constancia de la posibilidad de aparición de objetos de madera, nos pusimos en contacto con laboratorios equipados para tratar su secado. En este aspecto, contamos durante los primeros años con la colaboración desinteresada del Laboratorio de Restauración de Neuchâtel y a partir de 1998 del laboratorio del CASC en Gerona. En los dos laboratorios se han llevado a cabo tratamientos de secado por liofilización.

Aunque durante las campañas de excavación en la zona terrestre se ha utilizado una bomba Well Point para rebajar el nivel freático, los sedimentos arqueológicos han conservado siempre una cierta humedad. Esto ha facilitado



Lámina IV: Cuchara de hueso aparecida en el sector B de la Draga el año 1998 (fotografía: J. Tarrús).

los trabajos de excavación y extracción de materiales y ha permitido trabajar con herramientas de madera y plástico. Por otra parte, en las diferentes campañas se ha procurado controlar el funcionamiento de la máquina según las necesidades, limitándolo al mínimo, en beneficio de la conservación de los materiales arqueológicos y también de los costes económicos que supone el mantenimiento de la bomba en marcha. Igualmente, se ha vigila-

do que los materiales descubiertos conservaran la humedad, cubriéndolos con tejidos plásticos o el mismo sedimento y haciendo aspersiones regulares, sobre todo en el caso de que hubieran de quedar expuestos durante algún tiempo sobre el terreno para poder hacer fotografías y dibujos.

El levantamiento se ha hecho con muchas precauciones, especialmente en el caso de las maderas empapadas, debido a su especial fragilidad a pesar del aspecto satisfactorio que ofrecían a primera vista. En la excavación se ha dispuesto de todo tipo de bandejas y otros soportes de plástico de diferentes medidas para depositar las piezas tan pronto como eran extraídas del sedimento. Los objetos frágiles y fragmentados se han levantado en bloque con las tierras que lo rodean. Una vez extraídos, los objetos de madera han sido rápidamente colocados dentro de recipientes llenos de agua.



Lámina IV: Fragmento de posible yugo de arco aparecido en el sector B de la Draga en 1998

Es evidente la influencia de la zona excavada en lo que se refiere a la conservación de los distintos materiales. Es en el sector A donde se han encontrado los materiales arqueológicos más degradados. Aquí el nivel arqueológico se encuentra a escasa profundidad del terreno actual y, además de haber sufrido directamente las presiones de las máquinas durante las obras de 1990, está también más afectado por los cambios climáticos y las oscila-

ciones del nivel freático. En los otros sectores, el hecho de haber permanecido de forma perenne cubiertos por el agua, en condiciones anaeróbicas y a mayor profundidad, ha condicionado la excelente conservación de los restos arqueológicos recuperados.

La cerámica

La mayoría de los fragmentos cerámicos recuperados en el sector A presentaban grietas y poca cohesión de las pastas y, al intentar levantarlos, se descomponían. Por esta razón, sobre algunos se hizo en un primer momento una consolidación previa con acetato de polivinilo (Mowilith 30) diluido en alcohol, aunque más tarde se descartó este tipo de intervención y aquellos más frágiles fueron recogidos, extremando las precauciones, en bloque juntamente con las tierras de alrededor. En general, las cerámicas de los otros sectores, B y C, tenían una apariencia más consistente, pero presentaban también numerosas fisuras y se disgregaban fácilmente una vez secas. Se limpiaron en la misma excavación y se dejaron secar lentamente a la sombra. Una vez secos, todos los fragmentos cerámicos de la Draga han sido consolidados con Paraloid B72 (5%) disuelto en acetona o xileno.

La piedra

Entre los materiales pétreos recuperados se puede distinguir los utilizados como herramientas (láminas de sílex, hojas de azuelas sobre piedras duras pulimentadas, molinos, percutores y pulidores) y los dedicados al adorno personal o de carácter suntuario, como varios fragmentos de brazaletes, un fragmento de vaso y un colgante trabajados sobre mármol, además de dos cuentas discoidales sobre esteatita. Por sus características intrínsecas, no se encontraban apenas alterados y, por lo tanto, no han representado ningún problema en cuanto a su conservación.

Los restos animales

Los restos óseos de alimentación son abundantes en todo el yacimiento, especialmente en el sector A. Es también en esta zona más elevada donde estos restos se encontraban más degradados, con fisuras y a menudo aplastados, mientras que en los otros sectores su conservación era muy buena. Sin embargo, se evitó en todo momento hacer extracciones complicadas y sólo en algún caso se hizo un engasado con resinas para reforzarlos y poder levantarlos sin ocasionar nuevas fracturas ni perder parte de los fragmentos.

Además de los restos de alimentación se han recuperado en la excavación interesantes objetos trabajados en hueso, entre los que cabe destacar una espátula dentada para decorar las cerámicas, dos cucharas y diversos tubos, espátulas, punzones y agujas trabajados sobre huesos largos; aparte de varias piezas dedicadas al adorno personal (anillos y cuentas de hueso, colmillos de cerdo perforados y colgantes sobre concha).

La mayoría de los huesos se encontraban en un excelente estado de conservación, principalmente los del sector B; una vez recogidos, se guardaron húmedos y se limpiaron en el mismo yacimiento, dejándose secar después lentamente en un lugar fresco a la sombra.

Otro elemento destacable por su originalidad es un caparazón de tortuga que apareció junto a una cuchara de hueso y que se utilizaría como recipiente. Su estado de conservación era muy bueno, aunque para facilitar su manipulación y limpieza se hizo un soporte de poliéster y fibra de vidrio, aplicando una lámina de plástico entremedio. Se dejó secar lentamente y final-

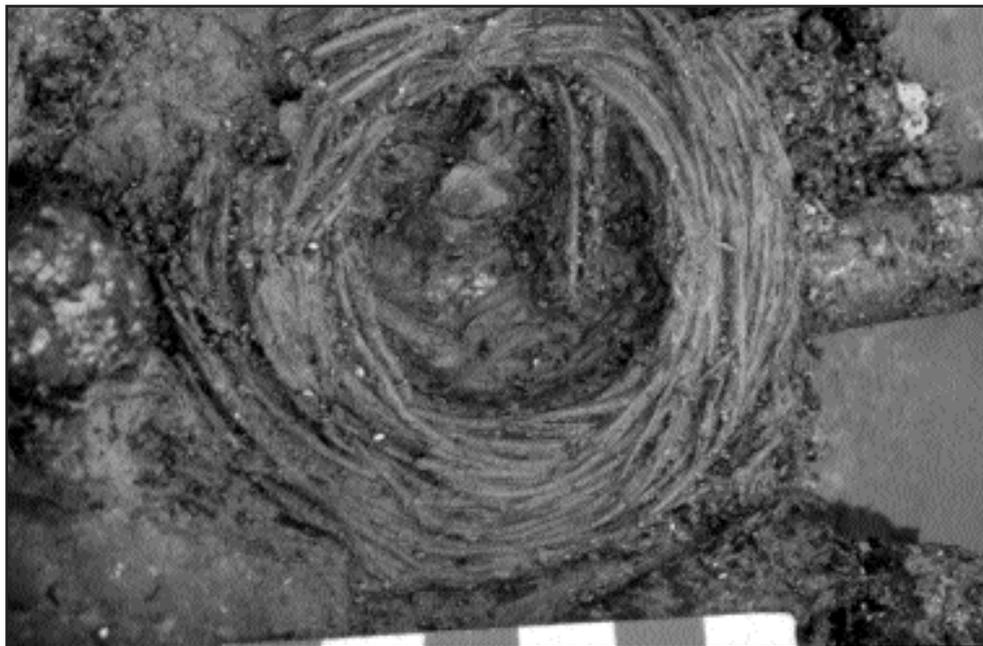


Lámina V: Rollo de lianas (*Clematis vidalba*), aparecido en el sector B el año 2001 (fotografía: J. Tarrús).

mente se consolidó con Paraloid B72 en acetona y se pegaron las placas separadas con adhesivo nitrocelulósico (Imedio banda azul).

La madera y otros restos vegetales

Entre los más de cincuenta objetos de madera recuperados, enteros o fragmentados, destaca la presencia de cinco hoces, una de las cuales conserva la lámina de sílex pegada, cinco mangos de azuela, una herramienta cortante en forma de hoz, abundantes palos cavadores de formas y medidas variadas, un arco de tejo y varias astas de flecha con punta, un palo batidor, tres fragmentos de objetos en forma de yugo, dos cuencos con asa, un fragmento de cucharón, dos espátulas, varias agujas ahusadas, cuñas y fragmentos de mangos, bien pulidos o facetados, además de abundantes restos de cuerdas, un rollo de lianas y fragmentos de cestos hechos de cárex.

Los objetos de madera empapada y otros restos vegetales delicados sólo se han conservado en el sector B, cubierto por el nivel freático, y C, dentro de las aguas del lago. Estos materiales se recogieron con extremas precauciones y se guardaron rápidamente en agua, dentro de bandejas, bolsas de polietileno y diferentes contenedores, según su forma y tamaño. En general presentaban un estado de conservación muy bueno, aunque muchos de ellos, especialmente los más porosos, estaban dañados por las raíces de plantas acuáticas que los atravesaban. Algunos objetos de la excavación subacuática, como el fondo de cesto, fueron extraídos en bloque con el sedimento lacustre, encajados dentro de una estructura de plástico rígido para asegurar su ascensión dentro del agua.

Una vez en el MACB, donde se hizo un primer estudio y fueron fotografiados y dibujados, los objetos más pequeños se colocaron dentro de una nevera (2-4°C), mientras que los más grandes se guardaron en recipientes o cajas de plástico con agua, a la que se añadió una mínima cantidad de fungicida (ácido bórico y bórax, en proporción 7:3), a la espera de su tratamiento definitivo.

Algunas piezas extremadamente delicadas, como algunos fragmentos de cestería, un rollo de lianas y un fragmento de cuenco sin apenas consistencia, se levantaron en bloque con el sedimento y, posteriormente, fueron reforzados con un nuevo soporte para facilitar su limpieza y estudio.

Estos nuevos soportes se hicieron de resina de poliéster y fibra de vidrio (sobre los fragmentos de cestería) y de espuma de poliuretano (sobre los dos cuencos -de los sectores B y C respectivamente- y el fondo de cesto de la excavación subacuática), colocando entremedio dos láminas de plástico para proteger las piezas y a la vez asegurar su humedad. Los soportes de espuma de poliuretano de dos caras han resultado muy útiles sobre estos objetos más frágiles, ya que han permitido trabajar tanto sobre la parte interior como exterior del objeto tan sólo girando el molde. Este sistema facilitó además el transporte de estos objetos al laboratorio de restauración.

En el caso de otros objetos delicados de pequeño tamaño (fragmentos de cestos, de cuerdas, hojas, hongos yesqueros...), las primeras medidas de conservación consistieron en guardarlos húmedos entre láminas de polietileno o

de fibra de poliéster para facilitar la manipulación durante su estudio.

En cuanto al secado de este tipo de materiales, nuestra intervención se ha limitado a algunos fragmentos pequeños de cestos parcialmente quemados, algunos hongos yesqueros (una vez estudiados por el especialista) y el rollo de lianas de vidalba. En los primeros, el método consistió en dejarlos secar lentamente,



Lámina VI: Mango completo de azuela superpuesta a una hoz, tal como se encontraron en el sector B durante la campaña de 2002 (fotografía: J. Tarrús).

destapados dentro de la nevera, y luego consolidarlos con diferentes resinas (acetatos de polivinilo y acrílicas), aunque los mejores resultados se obtuvieron con Paraloid B72. El rollo de lianas fue tratado con sucesivas aplicaciones de PEG 400 y posteriormente se reforzó superficialmente con una resina tipo epoxi (Araldit DY 0396/HY 2963) disuelta en acetona.

Los abundantes granos de cereales, legumbres y otros frutos se entregaron mojados a los especialistas en este tipo de estudios.

Finalmente, los postes de construcción, que como hemos mencionado anteriormente en el sector A se conservaban sólo a una profundidad de 60-70 cm por debajo del nivel arqueológico, presentaban un estado de conservación excelente, ya que quedaron desde el momento de su implantación cubiertos por el agua del nivel freático, a considerable profundidad y sin oxígeno.

De todos los postes y tablonces de construcción, tanto de los clavados como de los caídos, se han cortado dos rodajas, de aproximadamente un centímetro de grueso, para realizar el estudio dendrocronológico, que se lleva a cabo en el laboratorio del Museo Cantonal de Neuchâtel (Suiza). Estas rodajas se han guardado en el interior de dos bolsas de polietileno selladas, con una pequeña cantidad de agua con ácido bórico y bórax (0'6%) cada una y con el número de registro de la excavación escrito entre las dos bolsas y sobre el plástico exterior con tinta indeleble.

El resto de los postes que se extrajeron en los primeros años en el sector A, que fueron además los únicos que se pudieron sacar completos, se guardaron primero en un depósito excavado para este fin y después dentro del lago, en el interior de la trinchera abierta por la excavación subacuática, que fue cubierta de nuevo.

La conservación entre campañas

Ya en los primeros años de la excavación del sector B pudimos experimentar la manera de conservar los materiales que debían permanecer *in situ* hasta la próxima campaña. El año 1997, la abundancia de restos arqueológicos no hizo posible completar la excavación, a pesar de la poca extensión de la superficie abierta (25 m²).

Afortunadamente, el agua del nivel freático se encargó de cubrir y proteger, de esta manera, las estructuras de madera que no se pudieron excavar hasta el verano siguiente. Como medida de protección entre dos campañas, se cubrió la zona excavada con un tejido de malla de los utilizados en jardinería; esta precaución evitó en gran manera la intrusión de la fauna local (ranas, ratas de agua, patos...) dentro del nivel arqueológico y además facilitó la retirada de una gran cantidad de hojas caídas de los árboles de alrededor durante todo el año. Posteriormente se ha experimentado con geotextiles, obteniendo asimismo buenos resultados.

La conservación del yacimiento

Actualmente, la conservación del yacimiento no presenta ningún peligro. Sus condiciones especiales, a una profundidad considerable, cubierto por capas de tierra e inundado por el agua del nivel freático, aseguran su supervivencia en el sector terrestre. Además, una vez delimitada su extensión, el yacimiento ha sido protegido con una valla adaptada al paisaje y señalizado como yacimiento arqueológico.

También los niveles arqueológicos de la zona subacuática se encuentran a bastante profundidad por debajo de varias playas más modernas y está situado en una zona protegida, a salvo de cualquier tipo de obras de remodelación.

Sólo queda solucionar el aspecto de divulgación o presentación al público de los resultados obtenidos dentro del paraje del lago (estany) de Banyoles. Desgraciadamente, la excavación de un yacimiento de ese tipo comporta la destrucción de las estructuras descubiertas y, en todo caso, la imposibilidad de exponerlas para su exhibición.

Afortunadamente, en este caso se tiene la oportunidad de disponer de una zona contigua al yacimiento, que resulta el marco idóneo para efectuar una recreación de lo que sería el poblado neolítico y que se ha adaptado para la construcción de una cabaña, un granero y unos plafones explicativos, que junto a los talleres didácticos servirán para ayudar a comprender la forma de vida de estos primeros habitantes neolíticos de Banyoles. En el Museu Arqueològic Comarcal de Banyoles se exponen todos los materiales procedentes de la excavación.

Bibliografía

BOSCH, A., CHINCHILLA, J., TARRÚS, J. *et alii* (2000): *El poblament lacustre neolític de la Draga. Excavacions de 1990 a 1998, Monografies del*

CASC, 2, Girona, 296 págs.

MÜHLETHALER, B. (1973): *Conservation of waterlogged wood and wet leather*, Ed. Eyrolles, Paris.

PÉTREQUIN, AM. *et al.* (1988): *Cités lacustre du Jura. Préhistoire des lacs de Chalain et de Clairvaux (4000-2000 ans av.J.-C.)*, Ed. Errance, Paris.

PÉTREQUIN, P. (1991): *Construire une maison 3000 ans avant J.-C.*, Ed. Errance, Paris.

RAMSEYER, D. (1992): *Cités lacustres. Le Néolithique dans le canton de Fribourg, Suisse de 3867 à 2462 avant J.C.*, Catàleg de l'exposició al Museu de Malgré-Tout, Treignes, Bélgica.

ROBINSON, W. (1998): *First aid for underwater finds*, Archetype Publications ltd., London.

**PLANIFICACIÓN DE LAS EXCAVACIONES
ARQUEOLÓGICAS EN SEDIMENTOS INUNDADOS; LA
EXPERIENCIA DEL CENTRO DE ESTUDIOS *ARKEOLAN***

M^a Mercedes URTEAGA ARTIGAS

M^a Antonia GEREÑU URZELAI

Centro de estudios e investigaciones histórico-arqueológicas *ARKEOLAN*

Francisco de Gainza 4 E, 20302 Irún

www.arkeolan.com

1. Introducción

La arqueología guipuzcoana no conoce grandes villas romanas con pavimentos ni otros muchos testimonios habituales en los registros peninsulares; sin embargo, cuenta con una serie de características particulares y representativas que contribuyen a equilibrar las ausencias comentadas. Es el caso del patrimonio ligado a las actividades siderúrgicas con las representativas ferreñas, las manifestaciones mineras que se suceden desde tiempos pre-romanos o los depósitos arqueológicos inundados que trataremos a continuación; sin duda alguna, la amplia relación de zonas de estuario y de marisma han contribuido a la dotación de asentamientos y ocupaciones de todo tipo en este medio y a la posterior conservación de los restos orgánicos enterrados en el mismo. Sin embargo, aún siendo el ambiente estuarino el dominante en estas dotaciones, no se pueden olvidar otras circunstancias como la colonización de los ríos, la habilitación de fosos inundados en las fortificaciones de las villas medievales o la propia topografía urbana de los burgos, a la hora de ofrecer resultados similares. Dos décadas de investigaciones en el medio urbano han servido para destacar el papel de los contextos inundados a los que se debe un legado arqueológico excepcional, marcado por la presencia de colecciones sobre soportes orgánicos, madera y cuero -sobre todo- que, habitualmente, están ausentes en los sedimentos arqueológicos.

La primera experiencia arqueológica de la trayectoria que se presenta se recoge en la excavación de la presa de madera de Yarza en el año 1985, en Beasain, en el cauce del Oria. En esa intervención se pudieron comprobar las dificultades de conservación de la madera saturada de agua y contrastar con especialistas las diferentes alternativas de tratamiento. El reconocimiento de la presa de Yarza fue realizado por Robert Grenier y Robert Murdock de Parks Canadá. En 1987 asistimos al descubrimiento de Herriko Barra en Zarautz¹ y comprobamos que las dificultades de excavación de los sedimentos inundados se mantienen a pesar de emplazarse fuera del área de influencia de los cursos fluviales y en 1988 repetimos la experiencia de la presa de Yarza en el cauce del río Urrestilla, un afluente del Urola, en Azpeitia. En ese curso se descubrió un conjunto de presas de madera, pertenecientes a la antigua ferrería de Errazti, que fue preciso extraer debido a que en este punto estaba prevista la construcción del dique del embalse de Ibai Eder, para abastecimiento urbano.

Coincidiendo con el desarrollo del Master en Patrimonio Arqueológico y Artístico de la UPV (Universidad del País Vasco) en el que impartió varias lecciones, acompañamos al Dr. John Schofield (*Museum of London*) en la primavera de 1991 en una visita por las villas medievales guipuzcoanas. Al volver de Hondarribia señaló las amplias extensiones de tierras ganadas al

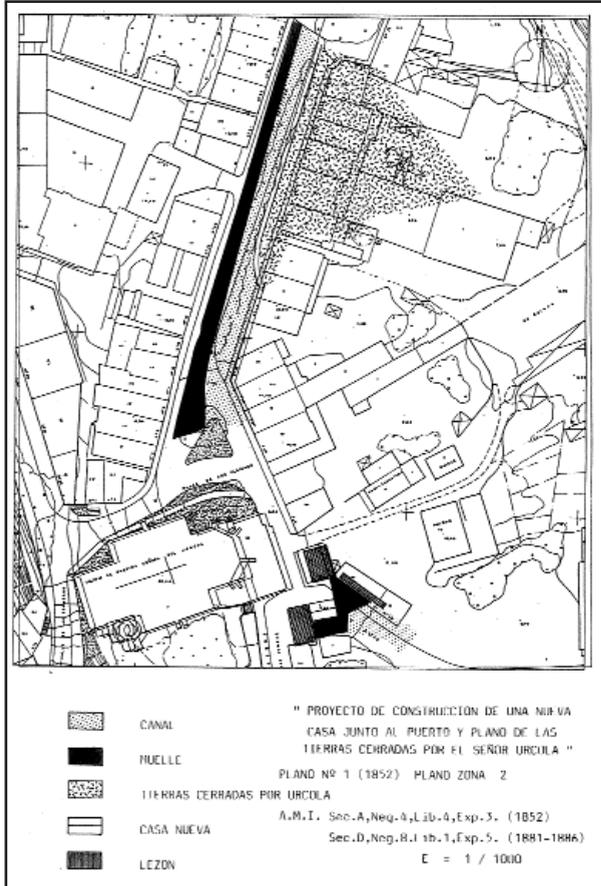


Figura 1: Restitución cartográfica del proceso de colonización de la calle Santiago, Irún.

debe su ordenación a la existencia de un canal que conectaba con el Bidasoa; fue sucesivamente desecado y sustituido por el vial actual (Figura 1).

El descubrimiento de la Calle Santiago dio inicio a una serie generosa de hallazgos, destacando los testimonios de las infraestructuras portuarias, aunque en el conjunto hay representadas otras manifestaciones con las que se obtiene una imagen básica de la *civitas* de *Oiasso*, una aglomeración urbana que dispuso de un puerto regional en el Golfo de Bizkaia; la etapa de mayor desarrollo comercial se centra entre los años 70 y 190.

Si las manifestaciones portuarias constituyen un ámbito de investigación destacado en el panorama de la arqueología romana, no es menos cierto que

estuario del Bidasoa a su paso por Irún, indicando que constituían el dominio indicado para la conservación de restos arqueológicos y que era la localización adecuada para instalaciones portuarias de época romana, en alusión a la entonces preliminar identificación de la *civitas* de *Oiasso*. Este asentamiento se había ubicado tradicionalmente en Oiartzun, a pocos kilómetros en el interior, pero desde finales de los años sesenta, los descubrimientos relativos a esa etapa histórica se venían produciendo en el casco de Irún, sabiéndose -además- de un fondeadero con restos de naufragios en la misma desembocadura del Bidasoa (URTEAGA, 1987), junto al cabo de Higer.

Los pronósticos de Schofield se cumplieron un año más tarde al descubrirse los muelles del puerto de *Oiasso* en las inmediaciones de la iglesia parroquial de Irún, en la calle Santiago. Esta calle

las condiciones de conservación presentan un valor añadido en el caso de *Oiasso*. Los sedimentos arqueológicos, en este caso, al haberse configurado en el ambiente de la marisma del puerto, se han mantenido en condiciones prácticamente anaeróbicas, por la acción de los lodos, y de saturación de agua gracias a extensión del freático durante las inundaciones de las pleamares. En este contexto se han conservado infinidad de desechos procedentes de las estibas, de los usos urbanos y de los arrastres de las mareas; se encuentran colmatando construcciones de madera, muelles y embarcaderos, cimentaciones de almacenes y espacios de tránsito.

Las tareas de investigación se han ido desarrollando a la par de las circunstancias comentadas, habiéndose resuelto las dificultades derivadas del carácter inundado de los sedimentos arqueológicos mediante la adopción de soluciones diversas. Muchas de ellas se han incorporado en la planificación habitual de las intervenciones que realiza el centro de estudios Arkeolan y han pasado a formar parte del procedimiento de trabajo.

Los sedimentos inundados y las colecciones arqueológicas saturadas de agua parecen ser una de las constantes en las investigaciones que realiza este equipo. En 1997 se confirmó la hipótesis que defendía la existencia de fosos inundados rodeando las murallas de las fortificaciones en las villas medievales. El primer tramo de foso se reconoció ese año de 1997 en Azpeitia, luego el de Elgoibar en 1999, el de Urretxu en el 2000 y, nuevamente el de Elgoibar en el 2001; esta vez con la intención de completar los registros. Es preciso señalar que junto a la función defensiva, los fosos cubrían necesidades de limpieza y saneamiento, habiéndose comprobado que fueron usados para deshacerse del calzado inservible, de los restos de comida, de la vajilla y enseres dañados, de las cáscaras de frutos secos, castañas, huesos de melocotón, cereza, ciruela... Por esta condición, se han convertido en los espacios de mayor interés arqueológico para el conocimiento del mundo urbano de las villas bajomedievales guipuzcoanas. Pero, además de los fosos inundados, en este capítulo se incluyen también suelos de ocupación urbana ancestral, alejados (incluso) de las zonas de inundación; es el caso del paleocauce que discurre en las inmediaciones de Eguzki Kalea en el casco histórico de la villa de Hondarribia donde se ha desarrollado una intervención arqueológica que ha finalizado el pasado mes de febrero (Lámina I).

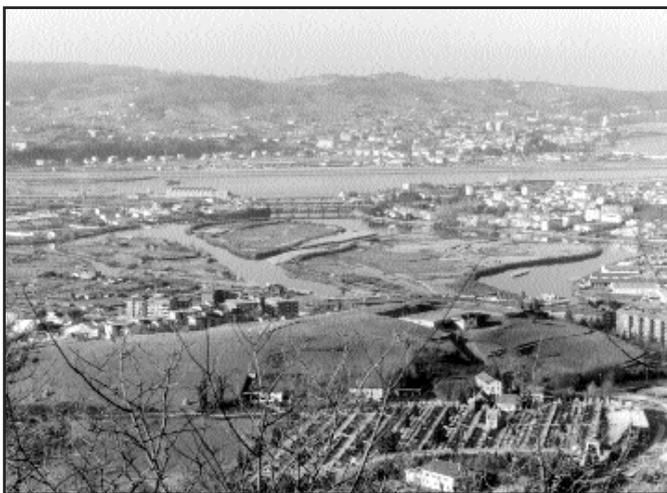


Lámina I: Marismas del estuario del Bidasoa

2. Planificación de los trabajos arqueológicos en depósitos inundados

2.1. Entibaciones

Habitualmente, los depósitos inundados se encuentran bajo capas de rellenos recientes, con los que se han cubierto para aprovechamientos urbanos y de otros tipos. Las cotas de aparición suelen registrarse por debajo de los dos metros, lo que obliga, en aplicación de la legislación vigente, a adoptar medidas de seguridad para estabilizar los taludes. Las obligaciones establecidas para este tipo de trabajo han ido evolucionando en los últimos años, resultando la Ley 31/1995, Ley de Prevención de Riesgos laborales, la normativa vigente en la actualidad.

En 1992, en la que fue nuestra primera incursión en los sedimentos arqueológicos inundados de *Oiasso* -la calle Santiago- teniendo en cuenta las dimensiones de la superficie a excavar, una banda de 10 x 50 m, se adoptó la solución de escudos de 2,5 m x 2 m, con puntales de acero. La instalación y diseño corrió por cuenta de la empresa adjudicataria de las obras del colector que, también se hizo cargo de las demás infraestructuras de la excavación. Al estar situada en el eje de un vial público, la superficie de excavación se protegió con una barandilla de acero perimetral y se cerró con chapa metálica. Para los días de lluvia, la intervención se desarrolló en los meses de

invierno, se dispuso una estructura metálica de postes y vigas sobre la que estaba previsto extender toldos de lona. Afortunadamente, fueron semanas de excepcional tiempo seco y soleado².

Los escudos con puntales cumplieron su función, aunque se contabilizaran un par de sustos y las condiciones de trabajo no fueran las óptimas. Las barreras interpuestas por la repetición de puntales resultaron más engorrosas de lo previsto, obstaculizando los recorridos habituales por la superficie de excavación (Lámina II).



Lámina II: Entibación realizada en la calle Santiago (Irún)

En 1998, también en invierno y en Irún -a pocos metros de distancia de la investigación más arriba citada-, comenzaron los trabajos arqueológicos en el solar de Tadeo Murgia. Para entonces, a la intervención en la calle Santiago se habían sumado operaciones diversas, en Santifer, en Paternain, y en este mismo solar; fuera del contexto inundado y portuario, se habían llevado a cabo otras excavaciones de entidad, en el solar trasero al antiguo edificio de

Escuelas Públicas, en la calle Beraketa, en diferentes galerías de mina, parques, huertas, etc. (GUEREÑU, LÓPEZ COLOM y URTEAGA, 1998). La experiencia acumulada sirvió para avanzar en la planificación de la excavación de la que ya se conocía de antemano la serie estratigráfica aproximada.

Como primera medida se abrió una cata de 3 x 2 m. para conocer el grado de inundación del terreno y determinar si el drenaje del área de excavación era posible con medios tradicionales, motobombas, o si, debido a la permeabilidad del terreno era preciso plantear un sistema por *wet point*, poco recomendable por la cercanía de viviendas de construcción tradicional que se sospechaba pudieran estar cimentadas sobre pilotes de madera, pero eficaz para mantener las condiciones de drenaje de la excavación. No fue necesario recurrir a esta alternativa porque las inundaciones por influencia de marea y filtraciones, aunque considerables, permitían el uso eficaz de motobombas. Una vez comprobada la cuestión del drenaje se replanteó la superficie de excavación, un rectángulo de 25 x 13 metros, iniciándose al poco las labores de entibación. Primero se rebajó un metro en una banda perimetral, de dos metros de anchura, para preparar el terreno en el que realizar la hincas de perfiles metálicos de 6 metros de longitud. Éstos se colocaron a continuación a una distancia de medio metro unos de otros, rodeando el área de la futura excavación. Posteriormente se unieron en coronación con una solera armada de hormigón y, tras esta fase de trabajos, se llevó a cabo la excavación mecánica hasta la aparición de los lodos del estuario. Inmediatamente comenzaron los preparativos: instalación de casetas de obra y servicios; dotaciones de agua, electricidad y saneamiento; habilitación de los medios necesarios para la criba con agua, zonas para containers, etc. Tras la cuadrícula en módulos de 5 x 5 dio comienzo, a finales de diciembre de 1998, la intervención arqueológica, con un equipo compuesto por tres peones, dos asistentes de campo, tres ayudantes, una restauradora, un dibujante y cuatro arqueólogos, dirigidos por Marian Guereñu. Los trabajos se prolongaron hasta el mes de marzo de 1999, concluyendo con la extracción de las piezas del muelle y el solape con las obras de construcción de los nuevos edificios. Se contó con la presencia del restaurador de la Diputación Foral de Gipuzkoa, Giorgio Studer, durante la fase de extracción y preconsolidación del muelle (Lámina III).



Lámina III: Entibación con perfiles metálicos realizada en Tadeo Murgia (Irún)

Siguiendo con las áreas estuarinas del Bidasoa en Irún, en 1999, durante la realización de catas para estudios geológicos en el amplio solar resultante



Lámina IV: Intervención arqueológica en Azken Portu: sistema de entibaciones

del derribo de la fábrica La Palmera, se registraron restos arqueológicos saturados a cota -5 m. Los depósitos pertenecían a la antigua marisma de Azken Portu, topónimo que indica la situación del último punto de acceso de embarcaciones, siendo su estratigrafía muy compleja. Entre capas cruzadas de arenas de distinto calibre, gravas y limos, se reconocieron piezas de madera que datadas por radiocarbono ofrecieron fechas correspondientes al

tercer milenio antes de Cristo acompañadas de fragmentos de cerámica prehistórica (Lámina IV).

Para proceder a la excavación fue necesario contar con cajones metálicos compactos, montados en las inmediaciones y trasladados a su ubicación mediante grúa. Una empresa especializada se encargó del montaje e instalación, además de las excavaciones mecánicas.

Entre noviembre de 2002 y marzo del 2003 se ha realizado la excavación arqueológica del solar número 12-14 de la calle Panpinot en el casco histórico hondarribitarra, siguiendo las pautas reconocidas en una intervención arqueológica previa; en el transcurso de la misma, motivada por el proyecto de sustitución del inmueble y habilitación de sótano, se reconocieron depósitos inundados dispuestos entre la cota -0,5 m y -3 que albergaban infinidad de testimonios medievales. Al plantearse la excavación en área fue preciso incorporar un proyecto de ingeniería para estabilizar los taludes resultantes.

La solución elegida incluía la utilización de planchas de hierro apuntaladas en dos de las secciones mientras que las otras dos restantes quedaban garantizadas por la aparición del terreno natural y la existencia de un muro pantalla en el medianil. En el desarrollo de la excavación fueron descubriéndose diferentes estructuras murarias que cruzaban el solar, ofreciendo condiciones adecuadas de trabajo. Por esta razón solamente en zonas puntuales ha sido



Lámina V: Intervención arqueológica en Panpinot (Hondarribia). Entibaciones

preciso recurrir a entibados sencillos con listones de madera y puntales metálicos. La intervención arqueológica realizada en la calle Panpinot de Hondarribia ha sido la primera en contar con su propio plan de seguridad (Lámina V).

2.2. Excavación

Desde 1987, fecha en la que se realizó la primera excavación en Gipuzkoa siguiendo la *Harris Matrix System*, éste ha sido el método de registro estratigráfico seguido por Arkeolan en sus intervenciones arqueológicas. Se aplica en la versión de registro por contexto simple, según la adaptación del DUA del Museo de Londres y posteriores actualizaciones del MoLAS (*Museum of London Archaeology Service*). La excavación de los contextos se acompaña de los muestreos necesarios y de la recogida selectiva de los denominados “hallazgos especiales” (*special finds*) entre los que se incluyen las colecciones de objetos en soportes orgánicos que se han conservado saturados de agua. Dependiendo del tamaño, estas manifestaciones pueden extraerse sin recurrir a procesos complejos o bien obligar, como se detallará en el apartado correspondiente, a diferentes grados de preparativos que, incluyen también su posterior traslado y medidas de preconservación (Lámina VI).



Lámina VI: Toma de datos para el registro estratigráfico

2.3.- Cribado de las tierras

Este aspecto de la planificación se ha demostrado imprescindible para optimizar los recursos de la excavación. Los sedimentos inundados suelen ser oscuros y presentar porcentajes elevados de limos plásticos que dificultan la recuperación de las colecciones arqueológicas. Tras la intervención en la calle Santiago, todos los trabajos realizados en las condiciones que se comentan han incorporado el cribado con agua a presión de los sedimentos extraídos. La instalación estandarizada consta de bañeras sostenidas por muretes de mampostería y caballetes de madera; sobre ellas se colocan las cribas de planta rectangular, bastidor de aluminio y tamiz metálico con retícula de medio centímetro; en caso de necesidad, se incorporan cribas de tamaño más reducido y retícula de menor tamaño. Los sedimentos, debidamente individualizados, se extienden sobre la criba y se proyecta agua a presión hasta diluir las tierras; las colecciones se recuperan entre los residuos y el agua se recoge en la bañera, canalizándose hasta una arqueta decantadora para pasar posteriormente a la red de saneamiento; la arqueta, además, permite la flotación de macrorrestos vegetales (Láminas VII y VIII).



Lámina VII: Sistema de cribado con agua

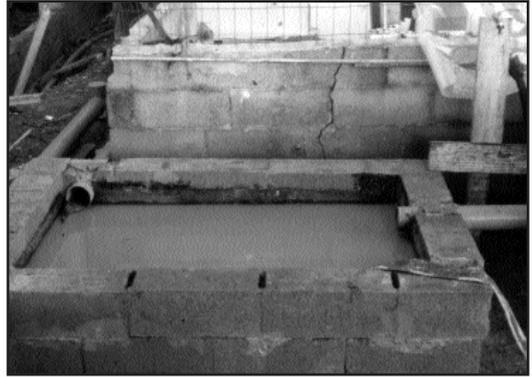


Lámina VIII: Sistema de cribado con agua: arqueta de decantación

2.4.- Embalaje preliminar

El método de excavación seguido por Arkeolan, registro estratigráfico por contexto simple, se acompaña del correspondiente sistema de tratamiento de las colecciones arqueológicas; incluye desde la limpieza a la clasificación, catálogo e inventario de los objetos y muestras recogidos. Se trata del sistema *Bulk-Accession*, desarrollado igualmente por el DUA-MoLAS del Museo de Londres.

Tras el cribado con agua, las colecciones se distribuyen siguiendo la ordenación básica, *accession* para los objetos que requieren tratamientos individualizados, *bulk* para los materiales a granel; estos últimos se clasifican según la materia, cerámica, hueso, concha, metal, orgánicos... y se depositan en bolsas de poliuretano perforadas con sus etiquetas identificadoras en papel resistente al agua, para evitar pérdidas de información innecesarias. Los elementos *accession* se embalan siguiendo pautas propias para cada elemento, desde cajas *tupper ware* con moldes interiores que se adaptan a las formas de las piezas, a bolsas con agua destilada termoselladas o soportes específicos elaborados con poliuretano expandido.

Entre las infraestructuras de la intervención arqueológica se incluyen zonas de depósitos provisionales para las colecciones recuperadas en el transcurso de la excavación; se sujetan a un diseño funcional en el que priman las condiciones de seguridad frente a intrusiones y frente a las condiciones medioambientales.

2.5.- Tratamiento post-excavación

Esta fase se realiza en los laboratorios de Arkeolan y supone la aplicación de un plan de tratamiento diseñado en función de las necesidades de cada grupo de materiales.

Las colecciones orgánicas saturadas de agua, como se ha adelantado, vienen embaladas en bolsas de poliuretano con humedad al 100% y, por tanto, termoselladas. En un primer proceso se elimina el agua del embalaje preliminar y, dependiendo de las características de los objetos -no es lo mismo

tratar una suela de calzado de cuero o un cabo de cuerda que macorrestos vegetales- se procede a su limpieza; en ocasiones basta con una operación continuada de cambios de agua, en otras un leve cepillado. Una vez finalizado el proceso de limpieza se vuelven a embalar en bolsas de poliuretano termoselladas en condiciones de humedad al 100%; se añade, si se considera necesario, un fungicida que se disuelve en el agua destilada.

Las colecciones cerámicas, las más abundantes en contextos arqueológicos romanos y medievales, antes de nada son sometidas a un test de salinidad³. Las condiciones estuarinas suponen aportes de agua marina, por influencia de las pleamares, y la consiguiente salinidad de los depósitos en los que se han conservado durante siglos los objetos arqueológicos. Incluso, aún procediendo de ambientes no estuarianos, los depósitos inundados tienen tendencia a la concentración de cloruros; cloruros que pasan –sobre todo- a los soportes cerámicos. Si no se eliminan las intrusiones de sales, una vez secas las piezas y almacenadas, se manifestarán en las superficies mediante cristalizaciones que irán destruyendo poco a poco la estructura cerámica (Lámina IX).

De acuerdo con los resultados del test de salinidad, en caso necesario, se lleva a efecto el proceso de desalinización. En esta operación, también se han producido avances importantes desde las primeras intervenciones arqueológicas. Inicialmente, por problemas de instalación, cada unidad de embalaje se desalaba por separado en recipientes con agua destilada que se renovaba diariamente. En la actualidad, se mantienen los contextos de procedencia individualizados pero en un solo recipiente de mayores dimensiones cubierto de agua que se renueva constantemente. Sirven para ello las mismas bañeras utilizadas en el proceso de cribado en las que se distribuyen cajas de plástico de retícula abierta. En estas cajas se depositan las diferentes unidades de las colecciones identificadas con etiquetas *watter proof*; la corriente continua de agua se obtiene de la red municipal. El proceso se mantiene hasta que el test de salinidad arroja valores satisfactorios. Finalmente se extraen, se dejan secar y, después, se siglan individualmente.

Las colecciones de huesos, arqueofauna mayoritariamente, se dejan secar en ausencia de radiación solar y luego se cepillan para eliminar los restos de barro.

Las colecciones metálicas, clavos, escorias, etc, se dejan secar también, en ambientes oscuros y de escasa variación térmica, antes de limpiarse con cepillos de fibras. En ocasiones, se hace necesaria la utilización de medios mecánicos abrasivos para eliminar concreciones que no desaparecen con el simple cepillado.

2.6.- Depósito y preconservación

Los materiales arqueológicos procedentes de ambientes húmedos, concluidas las fases más arriba descritas, se depositan en diferentes condiciones, dependiendo de las necesidades de conservación. El material de construcción pétreo, por ejemplo, se guarda sin atender a referencias específicas, al igual que las muestras de tierra. El resto de las colecciones, sin embargo, se depositan en condiciones determinadas por la naturaleza de los bienes.

Los objetos metálicos se conservan en compartimentos estancos, *tupper wares*, con gel de sílice; A su vez, los *tupper* se guardan en armarios compactos, repitiéndose cíclicamente las revisiones y la renovación del gel de sílice, en el caso de que haya perdido sus propiedades.

Los objetos cerámicos se introducen en bolsas de poliuretano que mantienen las referencias de registro estratigráfico y luego en cajas de cartón con PH neutro. Igual ocurre con los restos óseos y de conchas. Para las colecciones cerámicas, óseas y metálicas se cuenta con condiciones medioambientales adecuadas. Se dispone de salas climatizadas en las que la temperatura se mantiene entre los 18 y los 20° C y la humedad ambiental entre el 45 y el 55%.

Para los objetos saturados de agua se usan bolsas de poliuretano termoselladas en condiciones de humedad ya señaladas, al 100%; se guardan en armarios frigoríficos a 5°C de temperatura constante, revisándose periódicamente (Lámina X).



Lámina IX.: Desalinización de cerámicas



Lámina X: Proceso de termosellado

2.7.- Tratamientos de conservación

La trayectoria de Arkeolan recoge una serie de experiencias que han ido evolucionando paulatinamente en función de las necesidades detectadas y las alternativas de solución disponibles. Si en las primeras experiencias se optó por la extracción de las piezas y su pre-conservación en depósitos acondicionados, caso de la presa de Yarza en Beasain, luego -vistos los resultados de esta iniciativa- se exploraron vías con mayores garantías de conservación, aunque a expensas del aprovechamiento de los valores culturales de las manifestaciones arqueológicas; así en la excavación posterior de la presa de Errazti se eligió, una vez completado el proceso de registro arqueológico, volver a enterrar las piezas de madera en un ambiente saturado de agua y en la primera excavación sobre el complejo portuario romano de *Oiasso* se repitió esta misma opción, exceptuándose los objetos de pequeño tamaño; en esta ocasión, las piezas se mantuvieron en su emplazamiento original y se

cubrieron con los mismos lodos en los que se conservaron durante dos milenios. En la excavación de Tadeo Murgia esta tendencia se vio modificada por la necesidad de contar con los muelles construidos en madera, destinados a ser pieza protagonista en el proyecto del museo *Oiasso*⁴. Ante esta condición y la ausencia de laboratorios estatales que pudieran hacerse cargo del tratamiento de restauración, se encomendaron los trabajos al A.R.C. (Nucléart), C.E.A. de Grenoble (Francia); previamente el responsable del mismo, Ms. Régis Ramière, analizó *in situ* las condiciones de conservación de los restos y estableció un primer plan de actuación. Hoy es el día en que se ha dado por finalizado el proceso de impregnación en PEG y liofilización, abordándose en estos momentos el programa de restitución e integración del muelle del puerto romano de Tadeo Murgia en la exposición permanente del museo *Oiasso*. En Grenoble, además, se han tratado objetos menores, peines de madera, calzado de cuero y una extensa colección de objetos de madera, desde ruedas a elementos de carpintería. Conforme se han ampliado los hallazgos de materiales saturados de agua, especialmente en el caso de piezas de madera, ha sido preciso, además, recurrir a otro tipo de soluciones; el embalse de Ibarla, de forma puntual, y los embalses y anteparas del complejo hidráulico de Agorregi, que incluye una herrería y varios molinos -y es propiedad de la Diputación Foral de Gipuzkoa- han servido para almacenar los testimonios de este tipo recuperados en intervenciones arqueológicas realizadas por Arkeolan y por otros equipos que operan en el territorio de Gipuzkoa. El último episodio de la trayectoria que se señala incluye la dotación de un laboratorio de restauración con medios suficientes, entre ellos un liofilizador, para atender las demandas de las colecciones arqueológicas saturadas de agua, cada vez más abundantes como se ha señalado. Este laboratorio, iniciativa de la Diputación Foral de Gipuzkoa, se integra en un equipamiento más amplio con el que se pretende resolver la anómala situación en la que se desenvuelve la investigación arqueológica del territorio; no olvidemos que el único museo provincial ausente en la ordenación del patrimonio arqueológico del estado es el de Gipuzkoa (Lámina XI).



Lámina XI: Análisis de las piezas de madera por el responsable A.R.C. (Nucléart). Grenoble (Francia)

3. Relación de intervenciones arqueológicas

3.1. Intervención arqueológica en la presa de Yarza, Beasain

La presa de madera de Yarza se registró arqueológicamente en una intervención sin precedentes que se llevó a cabo en 1985⁵. La excavación se acompañó de la extracción de las piezas de madera y su reubicación en un pabellón de las inmediaciones, debido al plan de encauzamiento de este tramo del río; un plan que eliminaba todas las barreras existentes en el cauce, incluida, también, la presa de piedra situada a 50 metros aguas abajo. De esta última se pudo conservar un pequeño testigo en la margen derecha, pero un nuevo proyecto de intervención en el río, esta vez (año 2001) para habilitar una escollera en el talud de la orilla, ha traído consigo la eliminación del mismo.

La presa de gravedad de madera, de planta rectangular (22 m x 8 m) y sección en triángulo rectángulo (el lado largo representa la planta, el corto se identifica con el frente aguas abajo y la hipotenusa con el frente aguas arriba) presentaba un armazón organizado en siete niveles constructivos, realizados íntegramente en madera, a excepción de algunas uniones con clavos. Cada nivel disminuía su fondo proporcionalmente hasta llegar al remate superior con una sola hilera de vigas. La cimentación apoyaba sobre la roca *in situ*; para ello, el lecho del río se había nivelado, excavándose unas zonas y rellenándose otras con cantos de piedra y elementos de madera. Sobre esta capa de asiento se superponían las zapatas, unas vigas transversales, obteniéndose así una unidad de reparto rigidizada, a su vez, por vigas longitudinales. Sobre este zampeado se sucedían los demás niveles, resueltos con una hilera de vigas longitudinales y una hilera de vigas transversales formando una retícula. La superposición de niveles en altura se producía con una cadencia de 0,60 m por nivel hasta alcanzar el forro o coloma. El forro era de tablazón, disponiendo de varias bandas de piezas, e incluso varias superficies reparadas. En un lado se abría el aliviadero que llegaba prácticamente hasta la base de la coloma. La presa contaba con estribos de sillería de arenisca y toba, además de tramos de mampuesto, en ambas márgenes, salvando un alveo de 22 m; la fecha de construcción de esta imponente estructura se establece en 1535 (URTEAGA ARTIGAS, 2002).

Las piezas de madera de la presa fueron extraídas y trasladadas al lugar de almacenamiento, el sótano del polideportivo municipal, en el que fue acondicionado una cámara para mantener las condiciones de humedad necesarias para su conservación. Además, cada una de las piezas fue dibujada detalladamente y fotografiada (Lámina XII).

3.2. Intervención arqueológica en las presas de Errazti. Azpeitia

En 1988, con motivo de las obras de construcción del embalse de Ibai-Eder, mientras se realizaban las obras de excavación para asentar el dique, gracias al seguimiento arqueológico con el que se acompañaron las mismas, se pudieron reconocer otras dos presas de madera de gravedad. Perteneían a la ferrería de Errazti y se disponían en el cauce en una sucesión originada

por la edificación aguas abajo de una nueva presa que sustituía a la anterior ya inoperante. Tras la segunda presa de madera se colocaba una de piedra, la definitiva, con la que funcionó en su última etapa la ferrería comentada. Las dos presas de madera de características constructivas parecidas, con sus diversos niveles de entramados, su sección triangular y el forro de tablas, fueron extraídas pieza a pieza y enterradas en las inmediaciones en un emplazamiento que garantizase su conservación futura⁶ (Lámina XIII).

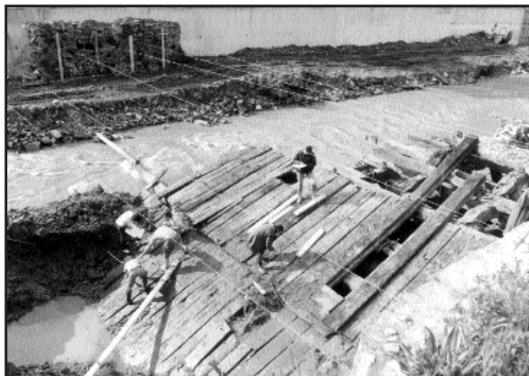


Lámina XII: Presa de Yarza (Beasain)



Lámina XIII: Presa de Errasti (Azpeitia)

3.3. Intervención arqueológica en la calle Santiago, Irún

El hallazgo del primer muelle del puerto romano de Irún se produce en 1992, en el contexto de una intervención de arqueología urbana; curiosamente la primera planteada tras los resultados alcanzados en un análisis que tuvo lugar entre 1987 y 1989. En ese análisis se habían tenido en cuenta los diferentes descubrimientos realizados en la zona a partir de la década de los sesenta del siglo pasado. Los datos más antiguos procedían de los hallazgos subacuáticos del fondeadero de Asturiaga en Higer y del sondeo realizado en la plaza de la iglesia parroquial de Irún. A principios de los setenta se data la intervención en la ermita de Santa Elena, también en Irún, donde se localizó parte de una necrópolis con urnas de incineración y restos de edificios funerarios y en los ochenta los descubrimientos de minería romana y el reinicio de las exploraciones submarinas en Asturiaga. Contando con esta serie de evidencias se marcaron una serie de hipótesis que pivotaban sobre la identificación Irún-*Oiasso*. Si Iruña es la versión vasca de Pompaelo y de Veleia, ambas poblaciones de importancia en ese período, Irún que comparte etimología, también podría referirse a un hecho urbano, siendo el término Irún-Iruña el equivalente de “ciudad”. Por otro lado, las informaciones de los geógrafos romanos se refieren a *Oiasso* polis y la sitúan en la costa, alejada, por tanto, de la localización tradicional que se ha defendido, hasta fechas recientes, a favor de Oiartzun. Además de una similitud fonética entre ambos topónimos, Oiartzun-*Oiasso*, la identificación se argumentaba desde los restos de minería romana en el coto de Arditurri, situado en ese término municipal, la posición de la estela de Andrearriaga sobre la línea que separa las demarca-

ciones de esa población y la de Irún, o la fundación de la villa medieval de Villanueva de Olearso, en terrenos pertenecientes al valle de Oiartzun, en cuyo nombre se integra una de las variantes con las que se registra en las fuentes el topónimo de *Oiasso*. En el análisis de 1987-1989 se trabajó, además, con abundante cartografía de los siglos XIX y XX; especialmente reveladores fueron los documentos en los que se retrataban zonas que se iban ganando a la marisma. A través de ellos se pudo reconstruir el proceso de desecación de las zonas del estuario más cercanas al casco urbano, obteniéndose una secuencia detallada de la situación en los alrededores de la iglesia parroquial entre 1850 y 1920. Contando, también, con noticias abundantes relativas al canal de Santiago que discurría por las aguas del estuario desde la posición de la misma iglesia parroquial, en la margen izquierda, hasta el punto en el que se colocaba el monasterio de Santiago de Zuberno, en la otra orilla, se reconstruyeron los episodios principales por los que el canal pasó a convertirse en el eje de la calle que lleva su nombre. Cada uno de ellos iba acompañado de un retroceso de la línea de muelles a los que servía de acceso, hasta acabar situándose éstos en la confluencia con el encauzamiento de Dumboa. Incluso el último muelle de la serie fue eliminado con el plan de obra que trataremos más adelante.

Con estos argumentos no es de extrañar que los arqueólogos que participaron en el estudio solicitaran la realización de una serie de catas arqueológicas cuando supieron que un colector para aguas pluviales y fecales iba a atravesar la calle de extremo a extremo, a una cota por debajo de los -2 m. El informe de Arkeolan defendía que había un número de probabilidades suficientes como para considerar que las obras iban a destruir restos arqueológicos de interés. Sin ir más lejos, los diferentes muelles e infraestructuras documentados en los siglos XIX y XX serían arrasados con la apertura de las zanjas, añadiendo diferentes consideraciones acerca del potencial arqueológico en los horizontes medieval y romano. Obtuvieron el apoyo de la Diputación y el ayuntamiento aceptó las medidas correctoras que se arbitraron. Consistían en un plan exhaustivo de sondeos arqueológicos previos al inicio de las obras. Los sondeos se realizaron en el mes de Septiembre de 1992, ante el escepticismo general. El caso es que comenzaron por la parte baja de la calle, donde tiene mayor anchura, y fueron encontrando los muros de las construcciones señaladas en los planos de los últimos siglos. Los restos asentaban directamente sobre los limos naturales del estuario, sin que se reconocieran depósitos arqueológicos precedentes. La posición de las catas iba ascendiendo paulatinamente la calle con una cadencia de 10-15 m. En la cata número 7 aparecieron un par de fragmentos cerámicos sospechosos de ser antiguos y en la número 8 se topó con un sedimento arqueológico plenamente romano. Tenía un espesor de cuarenta cm y cubría una serie de piezas de madera. En la siguiente cata se repitió el registro, comprobándose que los estratos presentaban un ligero buzamiento en dirección opuesta al desnivel del vial, extremo que se confirmó en la última cata de la serie, la número 12.

Cuando se elaboró la memoria de la intervención se concluyó afirmando que las obras del colector, en un tramo de 50 metros, obligarían a destruir vestigios arqueológicos romanos de especial relevancia -se hablaba, incluso,

de la hipótesis del puerto, por lo que -ante la imposibilidad de modificar o rectificar el proyecto, se planteó la documentación de los mismos a través de la excavación científica. Esta fase se realizaría antes de empezar las obras y, para evitar retrasos, debería estar finalizada en 10 semanas, entre el 10 de diciembre de 1992 y el 20 de enero de 1993. Así comenzó la investigación del puerto romano de Irún que tantas novedades ha traído para la arqueología romana de Gipuzkoa.

El área de excavación se delimitó en una banda de 50 m lineales por cuatro de ancho, coincidiendo con las dimensiones del cajón de seguridad con el que, por tramos se iban a desarrollar las obras y, por tanto, con los movimientos de tierras que afectaban a los depósitos romanos. Primero se excavaron los niveles superficiales, con medios mecánicos, luego comenzaron los trabajos arqueológicos, aproximadamente entre la cota -1,80 m y 2,00 m desde la rasante de la calle. La dotación arqueológica incluía, también, una oficina prefabricada, puntos de agua, luz, motobombas, poleas mecánicas y manuales, un equipo de operarios facilitado por la empresa constructora y 8 animados arqueólogos.

Los trabajos permitieron determinar tres áreas funcionales y una estratigrafía dispuesta en dos niveles de ocupación, con sus correspondientes secuencias de sedimentos. Cronológicamente, las referencias se refieren, principalmente, al período comprendido entre los años 70 y 150 d. C.

3.3.1. El muelle o rampa de calado

Ocupa el extremo meridional de la banda, los primeros 15 m, contando con una cimentación reticular de madera, rellena de sedimentos orgánicos, y parte de la losadura. Paralela a la misma, por el frente septentrional, se dispone una escollera de piedra de mayor altura en la que apoyan otra serie de rellenos con los que se cubren los restos de enlosado hasta llegar al nivel de la escollera. La cimentación de madera y los contextos asociados a la fundación del muelle se datan entre los años 70 y 90, mientras que la escollera y los rellenos superiores a partir de esa última fecha y hasta finales del siglo II; en este sector se han recuperado, también, un número reducido de elementos cerámicos del siglo III.

El elemento de mayor interés, es sin duda, la cimentación de madera, tanto por su estado de conservación como por las soluciones constructivas que presenta o los ajuares que se han recuperado asociados a la misma. Las piezas de madera están dispuestas sobre una superficie previamente nivelada mediante excavación de los lodos naturales del estuario. El plano sobre el que se extiende la estructura presenta un ligero desnivel en dirección N-S, 8 %, que se repite en el sentido longitudinal o E-W. La primera capa de piezas de madera, la mayoría con signos evidentes de haber sido reutilizadas, se reparte formando líneas paralelas que arrancan desde una perpendicular que sirve de límite hacia el Norte. Sobre esta capa se coloca otra serie de vigas transversales, formando una retícula de módulos rectangulares. La viga cabecera sirve de apoyo a gruesas piezas de madera de sección cuadrada, 40 cm x 40 cm, y una altura de 80 cm. La retícula esta cubierta de rellenos de

tierra en los que son especialmente abundantes los ajuares arqueológicos cerámicos hasta alcanzar una cota en la que se han registrado pequeñas isletas pavimentadas con losas.

Se ha pensado que puede tratarse de un espigón que penetra en el estuario para facilitar el atraque de las naves frente a las oscilaciones de las mareas, aunque también se ha planteado el carácter de rampa de calado para favorecer la recogida de las embarcaciones. La construcción de la escollera y la colmatación posterior de los niveles fundacionales, aún planteando muchas interrogantes, se defiende asociada a una intervención similar reconocida en otro sector de la excavación y que puede estar motivada por problemas de asentamiento de las cimentaciones. Estos problemas obligarían a elevar la cota de uso y a replantear las construcciones (Lámina XIV).

3.3.2. *El dominio de los juncales*

El borde septentrional de la escollera limita con un espacio en el que están ausentes los ajuares arqueológicos y que responde a un antiguo juncal. Se extendía entre este punto y el sector de los almacenes, en el extremo septentrional de la banda, lo que demuestra la presencia de una zona de dominio acuático.

3.3.3. *Los almacenes*

Se separan del área de los juncales mediante una línea de tablestacado de madera que sirve de apoyo, en la zona inundada, a un pequeño embarcadero. En el interior del espacio marcado por el tablestacado se observa la cimentación de dos edificios sucesivos y separados por un espacio que se ha interpretado de tránsito o vial. En la construcción más cercana a la lámina de agua se ha registrado una serie estratigráfica en la que se presentan dos niveles. Uno de fundación con cierres alineados Norte-Sur y Este-Oeste que se cimienta con pilotaje de madera y otro posterior por el que se eleva la cota de ocupación casi 30 cm, mediante una serie sucesiva de rellenos. La nivelación supone un reajuste en la orientación de las alineaciones de los edificios que pasan a adoptar las mismas referencias urbanísticas existentes en la actualidad (Lámina XV).



Lámina XIV: Estructura de madera del puerto de la calle Santiago de Irún



Lámina XV: Intervención arqueológica en la calle Santiago. Irún

3.4. Intervención arqueológica en la calle Tadeo Murgia, Irún

El muelle de Tadeo Murgia se descubrió en el transcurso de las excavaciones arqueológicas asociadas a las obras de construcción del solar, entre diciembre de 1998 y marzo de 1999⁷. Ocupa el borde del estuario, desarrollándose sobre la pendiente de contacto entre la lámina de agua y tierra firme. Por lo que parece, el muelle se ubica en un emplazamiento de fondo de saco, con respecto al canal de acceso, por lo que los sucesivos rellenos antrópicos, desechos urbanos, descarga de lastres o de mercancías deterioradas, es posible que acabaran afectando al calado de la zona, obligando al abandono de los usos iniciales.

Sin duda alguna, ésta ha sido la intervención arqueológica más fértil de cuantas ha realizado Arkeolan y, también, la de mayor dificultad y esfuerzo. Se han repetido los volúmenes de cerámica de la calle Santiago, aunque multiplicados varias veces gracias al uso del agua a presión en las cribas, lo que ha incrementado considerablemente el número de piezas recuperadas. Igualmente se han repetido los hallazgos de semillas y elementos orgánicos pero en densidades superiores por el uso del sistema de cribas descrito. Todo ello corresponde a una instalación portuaria situada en el borde de la colina de Beraun, al pié del estuario que se data, también, entre la segunda mitad del siglo I y finales del siglo II. La construcción del muelle se compone de cuatro gradas de unos 2 metros de ancho. Cada una de ellas asienta sobre una base de losas de piedra alineadas en el frente. La plataforma sirve de apoyo a hileras de troncos sujetos, cada cortos tramos, por pilotes hincados en el terreno; con cada grada se salvan unos 40 centímetros de desnivel. Al pie del muelle se extiende la lámina de agua por la que accederían las embarcaciones, detectándose un fuerte buzamiento de los niveles naturales y rellenos prácticamente estériles. Sin embargo, en el sector meridional, donde el muelle se une a tierra firme en su eje longitudinal, se aprecian grandes rellenos hasta la cota de las gradas, de hasta metro y metro y medio de potencia que parecen ser resultado de un menor calado y de los sucesivos aportes desechados en las descargas. Justamente en el límite Sur Oeste de la excavación se han reconocido las cimentaciones sobre pilotes de madera de edificios identificados con almacenes. En la intervención arqueológica señalada se extrajeron las piezas de madera correspondientes a las dos gradas inferiores, así como las losas de piedra de la plataforma de apoyo para ser integradas en las exposiciones permanentes del museo *Oiasso*. Lámina XVI

3.5. Intervención arqueológica en Azken Portu, Irún

La enorme explanada, de miles de metros cuadrados, resultado del derribo de la fábrica La Palmera de Irún, se ubica en las inmediaciones del río Bidasoa, en una zona de marisma ganada al estuario a finales del siglo pasado y que recibía el nombre de Azken Portu, en alusión a la existencia de instalaciones portuarias. Tras el traslado a otra ubicación de la fábrica y el derribo de sus instalaciones se comenzaron las obras de habilitación de una urbanización con usos residenciales que acogerá cientos de viviendas.



Lámina XVI: Estructura de madera del puerto de Tadeo Murgia. Irún.

La intervención arqueológica tuvo un marcado carácter de valoración en consonancia con el futuro de este espacio y los precedentes arqueológicos reconocidos hasta la fecha. Lo cierto es que, ante los testimonios de navegación antigua en el estuario y el contexto minero -en el que podían entenderse estructuras de tratamiento del mineral- junto con el carácter sellante de los rellenos previstos para la urbanización, se plantearon una serie de investigaciones arqueológicas destinadas al

reconocimiento del subsuelo de este área. Durante el reconocimiento geológico del subsuelo a cargo de la empresa promotora, a casi cinco metros de profundidad, entre los lodos más profundos reconocidos en la excavación mecánica se recogieron restos de madera, de tamaño reducido y aspecto regular. Se enviaron a un laboratorio estadounidense para su datación por C14; la cronología correspondiente a las evidencias analizadas se remonta hasta 4.830 ± 70 BP.

Con este precedente se planificó una excavación en la zona en la que se había producido el hallazgo de referencia con la intención de determinar la existencia de un contexto antrópico para las piezas datadas o, si por el contrario, eran fruto de una acción natural, un arrastre de ramas de árboles por efecto de las aguas, por ejemplo.

La excavación, realizada en el verano de 1999⁸, se desarrolló marcada por la complejidad de la infraestructura de entibación y acceso a los niveles arqueológicos, tanto para la maquinaria como para los arqueólogos, sin olvidar las inundaciones por influencia de las mareas. Máquinas excavadoras, grandes bombas de achique, cajones metálicos para entibación, compresores, excavaciones en escalones... han sido necesarios para investigar las acumulaciones de lodos, barro y agua, y para advertir la presencia de estratos sucesivos de arenas y gravas, que envolvían un aporte de troncos, ramas y piezas de madera. También se han descubierto restos de cerámica prehistórica. El hallazgo se interpreta en función de la existencia de la orilla de una playa en la que las aguas van depositando restos de diferente tipo, entre ellos piezas de madera trabajada o fragmentos de cerámica (Lámina XVII).

3.6. Los fosos inundados

Hasta la excavación arqueológica en el número 8 de la calle San Bartolomé de Elgoibar, los registros de fosos procedían de análisis puntuales, determinados por las necesidades de los proyectos de obra en los que se inscribían.

En la calle Santiago 2 y 4 de Azpeitia, donde se reconocieron por vez primera, los sedimentos del foso se examinaron condicionados por el plan de obra y por la misma novedad del descubrimiento. El análisis se centró en el relieve del terreno y en la distribución de los restos constructivos; el foso discurría por un cauce con talud pronunciado, siguiendo un trazado paralelo a la cimentación de un muro de 90 cm de anchura que se identificó, a pesar de la escasa sección comentada, con la cortina de la muralla. *El foso de la muralla medieval de Azpeitia* (URTEAGA y LÓPEZ, 1998) presentaba tres metros de profundidad y una planta que se iba estrechando conforme se acercaba a la base, con taludes en ambas márgenes excavados en las arcillas del terreno. Se encontraba colmatado por depósitos de arenas finas y limos, en los que se conservaban varios pilotes de madera, restos de calzado de cuero, restos óseos y otros ajuares arqueológicos

El hallazgo del foso defensivo de Elgoibar, en 1999⁹, venía prologado de un estudio en el que se había dibujado su existencia (Estudio Histórico-Arqueológico del urbanismo de la villa de Elgoibar, redactado por Arkeolan con el patrocinio del Gobierno Vasco y del Ayuntamiento de Elgoibar: 1991). Ocurrió en el número 22 de la calle San Bartolomé mientras se realizaba un control arqueológico de los movimientos de tierra para la excavación de zapatas con motivo de la construcción de un edificio de nueva planta. En este emplazamiento se repite la asociación de los sedimentos inundados del foso con un muro paralelo de 90 cm de anchura.

En Urretxu¹⁰, en la calle Iparraguirre números 26-28, los sedimentos del foso habían sido prácticamente arrasados. Esta operación se asocia con la explanación del solar para la edificación de la casa de vecinos cuya sustitución permitió realizar el control arqueológico que se comenta. Éste se llevó a cabo asociado a los movimientos de tierra provocados por la preparación de las zapatas de cimentación.

Contando con los datos obtenidos en el número 22 de la calle San Bartolomé de Elgoibar, en el año 2001, se planteó un proyecto específico de reconocimiento de los fosos coincidiendo con la sustitución de otro solar situado en el número 8 de esa misma calle. El proyecto, ejecutado en los meses de noviembre y diciembre, ha servido para reconocer los rellenos que cubrían el foso hasta llegar a la base del mismo¹¹.

La intervención arqueológica ha permitido saber que aquí también se repite la sección del muro de la cortina de apenas noventa centímetros, como ocurre en Azpeitia y Urretxu, y la disposición del foso por la parte exterior. No se ha podido saber su anchura, la del foso, debido a que se prolongaba fuera del solar -por debajo de la calle-, pero sí su profundidad que alcanza los 3 m. Todo el depósito contiene abundantísimos restos arqueológicos conservados en ambientes húmedos, siendo especialmente relevantes los ajuares orgánicos. Decenas de herretes dorados, de piezas de cuero, cientos de semillas de frutas, de fragmentos de cerámica, de restos de fauna. La amortización del foso coincide con la construcción de un muro paralelo a la cortina de la muralla que refuerza la cimentación hasta alcanzar una sección de

metro y medio. Esta intervención se relaciona con los dos incendios generalizados de 1560 y 1616 (Lámina XVIII).



Lámina XVII: Intervención arqueológica en Azken Portu (Irún)



Lámina XVIII: Foso inundado de Azpeitia

3.7. La intervención arqueológica en Eguzki kalea y Panpinot, Hondarribia

En una valoración preliminar, la serie estratigráfica se ordena en tres niveles principales que rellenan el desnivel del terreno natural por el que discorriría un pequeño curso de agua. Sobre la roca natural descansa un depósito de arcillas de grano muy fino que contienen restos vegetales, sobre todo; alcanza una potencia de noventa centímetros. Sobre estas arcillas se suceden las acumulaciones orgánicas de época medieval que llegan a tener dos metros de potencia, repartiéndose en dos fases estratigráficas; en la superior se han reconocido dos estructuras de madera que parecen corresponder con sendas prensas para uva. Todos los contextos arqueológicos pertenecen al grupo de sedimentos inundados por lo que se han conservado ajuares orgánicos entre ellos, siendo ésta una de las peculiaridades principales del sitio. Debe tenerse en cuenta, también, en esta apreciación destacada la extraordinaria riqueza y volumen de los objetos arqueológicos, sobresaliendo la calidad y variedad de las vajillas importadas que se relacionarían con las redes comerciales del Atlántico, proponiéndose una cronología que podría corresponder a las fases iniciales de la ocupación de la villa,



Lámina XIX: Estructura de madera de la intervención arqueológica en la calle Panpinot (Hondarribia)

coincidiendo con el proceso de fundación, siglo XIII¹² (Lámina XIX).

4. Otras intervenciones arqueológicas en sedimentos inundados del territorio de Gipuzkoa

4.1. Intervenciones subacuáticas

Las intervenciones submarinas en el territorio de Gipuzkoa se centran sobre todo en el Fondateiro de Higer, en la Bahía de La Concha (Donostia-San Sebastián), en la desembocadura del río Oria (Orio), y en la bahía de Getaria.

Las primeras prospecciones arqueológicas en el *Fondateiro de Higer* se llevaron a cabo entre 1969 y 1972 a iniciativa de Jaime Rodríguez Salís que, en 1973 y 1974, contaron con la colaboración de M. Martín Bueno. Posteriormente, en el año 1984, fue la sociedad Insub quien prosiguió los trabajos hasta el año 1993 con un levantamiento topográfico submarino y un rastreo sistemático del fondo¹³. La colección de materiales recuperados en toda esta trayectoria es importante, aunque se cuenta con muy pocas informaciones publicadas. Destaca el pecio romano reconocido en el año 1975 y cuya identificación responde a un túmulo de mineral de hierro situado a 20 m de profundidad que tenía una longitud de 25 m y una anchura de 15 m. En los bordes del amontonamiento se constata la presencia de piezas de madera que se consideraron pertenecientes al barco que transportaba el mineral y junto a él se recuperaron restos de cerámicas romanas. Éstos fueron los argumentos que en su día llevaron a proponerlo como romano; sin embargo, ésta hipótesis no ha podido ser confirmada porque gran parte del barco se ha destruido a causa de la actividad pesquera de algas con métodos de arrastre (IZAGUIRRE, 1991), no dando opción a un estudio arqueológico detallado del mismo. También son de destacar los conocidos como bronce de Higer, que se componen de cuatro apliques figurados, tres jarras, un tirador, dos asitas, una cerradura, una bandeja y un aro, todos ellos en bronce fundido y que parecen estar relacionados con un ambiente religioso, concretamente a ritos relacionados con el culto a Mitra (URTEAGA, en prensa).

En lo que se refiere a la *Bahía de la Concha*, las prospecciones comenzaron en el año 1990, dirigidas también por el INSUB realizándose nueve campañas, la última de las cuales se efectuó en 1998¹⁴. Se localizaron varios pecios de embarcaciones de madera que se dejaron in situ, realizándose revisiones periódicas. El más destacable de estos pecios es el conocido como "Pecio de los relojes", un pantoque de un barco de gran porte construido en madera, que se encuentra a una profundidad de 7-9 metros. Ante el deterioro observado de este pecio se realizó una campaña de protección durante el año 2000 con una evaluación preliminar de documentación de las distintas piezas de la embarcación (en las zonas en la que el lastre había desaparecido). Posteriormente se realizó una cubrición del mismo con grava para preservarlo del posible deterioro (IZAGUIRRE y NAYA, 2000).

En el año 1992, en la desembocadura del río Oria se localizó una embarcación de carga datada entre los siglos XVII y XVIII, que llevaba mineral de

hierro posiblemente procedente de las minas de Somorrostro, Bizkaia. La embarcación se localizó como consecuencia de las obras de dragado del río y fue necesario realizar una excavación de salvamento ya que el pecio se encontraba a una cota superior a la que iba a quedar el lecho de la ría. Las labores de excavación arqueológica plantearon numerosos problemas debido a la situación de la embarcación y a la necesidad de compaginarlas con las obras de dragado del río anteriormente mencionadas.

La excavación se planteó en dos bloques diferenciados, el barco y la carga. Se optó por una extracción directa de la carga, lastrándose simultáneamente el pecio para evitar el deterioro del mismo a causa de las corrientes. Una vez extraída la carga y tras la realización de las labores de limpieza del casco se procedió al registro de todas las piezas de la embarcación para su posterior desmontaje y extracción (IZAGUIRRE, 1992).

Las mayor parte de las piezas extraídas en estas intervenciones fueron trasladadas a los embalses y anteparas del complejo hidráulico de Agorregi, que incluye una ferrería y varios molinos y es propiedad de la Diputación Foral de Guipúzcoa.

Las actuaciones arqueológicas en el *yacimiento de Iturritxiki en Getaria* comenzaron en 1987 a raíz del descubrimiento de una serie de lingotes de metal por dos submarinistas. Posteriormente se decide comenzar una campaña de sondeos y revisiones periódicas destinados a la localización de posibles restos arqueológicos en la zona que se prolonga hasta el año 2001, enlazando con otra nueva campaña que comenzó en el año 2001 y que abarca toda la bahía de Getaria¹⁵.

Además de localizarse más lingotes de cobre de las mismas características que los hallados en la primera campaña de 1987 y otra serie de ajuares arqueológicos (anclas, alfileres, cerámicas, clavazón etc.) se descubrieron los restos de una embarcación de madera distribuidas sin orden aparente, que se dejaron *in situ*. En cuanto a los ajuares arqueológicos concrecionados extraídos del yacimiento, como recámaras de bombarda, anclas de hierro, munición de cañón etc., se conservan saturados en agua hasta que pueda llevarse a cabo su restauración.

4.2. Jardines de Alderdi Eder y Alameda del Boulevard (Donostia-San Sebastián) (Directora: Miren Ayerbe)

Se trata de una excavación arqueológica realizada como consecuencia de la construcción de un parking subterráneo delante del Ayuntamiento de la ciudad y en la Alameda del Boulevard. Tras una fase de sondeos de valoración llevados a cabo en 1993, se efectuó la excavación arqueológica en dos fases durante los años 1997 y 1998.

Además de numerosos hallazgos relacionados con las fortificaciones renacentistas de la ciudad, así como de las fortificaciones abaluartadas posteriores, se registraron restos de estructuras de madera saturada en agua. En primer lugar, más de ciento cincuenta pilotes relacionados con la cimentación de las defensas exteriores del Frente de Tierra y con una datación aproximada de mediados del siglo XVIII. Así mismo, en el área conocida como

el Juego de Pelota se registró una estructura de madera datada a mediados del siglo XVI y que parecía relacionada con la construcción de la cortina de la fortificación renacentista, además de otra estructura de planta circular formada por pequeñas tablas hincadas verticalmente en la arena¹⁶ (AYERBE y FERNÁNDEZ, 1993).

Tanto los pilotes de madera como las dos estructuras fueron extraídos y trasladados para su conservación a los embalses de la Diputación Foral de Gipuzkoa.

4.3. Plaza Berri y Plaza del Sagrado Corazón (Azkoitia) (Directores: Alex Ibáñez, Alfredo Moraza, Jesús Manuel Pérez)

Se trata de dos zonas cercanas entre sí, la plaza del Sagrado Corazón se encuentra delante de la iglesia parroquial de Santa María la Real de Azkoitia y Plaza Berri colindante con ella hacia el NE, pertenecientes al casco histórico de la villa de Azkoitia, de fundación medieval.

La intervención arqueológica realizada *delante de la iglesia parroquial* en el año 1996 permitió registrar restos del lienzo de la muralla de la villa; culminaba en el estribo exterior de la misma, y correspondía con parte de uno de los accesos a la población. Así mismo, se localizó una estructura de madera de grandes proporciones saturada de agua que se dejó *in situ* (IBÁÑEZ, 1996).

En la parte inferior de la zona conocida popularmente como *Plaza Berri* (en realidad calle Mayor) se llevó a cabo una intervención arqueológica en el año 2000 como consecuencia de las obras derivadas de las medidas correctoras adoptadas por la Dirección de Aguas del Gobierno Vasco para prevenir las consecuencias de las frecuentes crecidas del río Urola y sus afluentes. La intervención permitió identificar la retícula urbana de una manzana central de casas existente en la calle Mayor y que fue derribada a mediados de siglo XIX para la construcción de la actual Alameda o Calle Mayor. Además, dos estructuras de madera, cronológicamente anteriores a la retícula urbana identificada, que por sus características parecen corresponder a los restos de cimentación o pilotaje de una construcción no identificada (MORAZA y PÉREZ, 2000). Las piezas de madera de esta estructura fueron extraídas y trasladadas a los embalses del complejo de Agorregi.

4.4. Ferrería de Bicuña (Legazpi) (Directoras: Larraitz Arrechea, Beatriz Herreras)

La ferrería de Bicuña se encuentra situada en la cuenca del río Urola, cercana al caso urbano de la villa de Legazpi. Se trata de una ferrería perteneciente al solar de los Bicuña, documentado por primera vez en el año 1384¹⁷. No se sabe con exactitud cuando fue construida la ferrería aunque ya en 1412 (DÍEZ DE SALAZAR, 1997: 335-336) se encontraba trabajando. Parece que consiguió superar la profunda crisis que este tipo de instalaciones sufrieron durante el siglo XVI, ya que estuvo funcionando con mayor o menor intensidad hasta el siglo XIX. Entre las muchas reformas que tuvo que sufrir a lo largo de los siglos, destaca la que se realizó en el siglo XVIII, en la que parece que

pasa de ser una ferrería para labrar hierro a una para fundir y labrar acero.

La intervención arqueológica (HERRERAS y ARRECHEA, 2000) se llevó a cabo en el año 2000, como consecuencia de las obras de construcción de una nueva carretera que alteraba parte de las instalaciones de la ferrería. En primer lugar se procedió a la limpieza y desescombro del canal y la antepara, estructuras que no se veían afectadas por el proyecto de la carretera, descubriéndose la base de la antepara construida a base de tablazón de madera calafateada, destinada a evitar las pérdidas y filtraciones de agua. Además se excavó la zona en la que se ubicaba el taller de la ferrería y la zona destinada a carbonera.

Los restos de madera de la base de la antepara se quedaron *in situ*.

Bibliografía

- AYERBE, M. y FERNÁNDEZ, C. (1993): “Alameda del Boulevard (Donostia-San Sebastián)”, *Arkeoikuska* 93, Vitoria-Gasteiz, 367-375.
- DÍEZ DE SALAZAR, L. M. (1997): *Ferrerías guipuzcoanas. Aspectos socio-económicos, laborales y fiscales* (siglos XIV-XVI), Instituto Doctor Camino, Donostia-San Sebastián.
- GUEREÑU, M. A., LÓPEZ COLOM, M. M. y URTEAGA, M., (1998): “Novedades de arqueología romana en Irún-Oiasso”, *Coloquio Internacional sobre la Romanización de Euskal Herria, Isturitz* 8, Donostia-San Sebastián, 467-489.
- IBÁÑEZ, A. (1996): “Muralla y plaza Sagrado Corazón (Azkoitia)”, *Arkeoikuska* 96, Vitoria-Gasteiz, 310-311.
- IZAGUIRRE, M. (1991): “Cabo de Higer y Bahía de Txingudi. Hondarribia”, *Arkeoikuska* 91, Vitoria-Gasteiz, 120.
- IZAGUIRRE, M. (1992): “Barra de la desembocadura del río Oria”, *Arkeoikuska* 92, Vitoria-Gasteiz, 322-328.
- IZAGUIRRE, M. y NAYA, L. M. (2000): “Pecio de Los Relojes. Bahía de la Concha Donostia-San Sebastián”, *Arkeoikuska* 00, Vitoria-Gasteiz, 429-441.
- HERRERAS, B. y ARRECHEA, L. (2000): “Ferrería de Bicuña (Legazpi)”, *Arkeoikuska* 00, Vitoria-Gasteiz, 423-426.
- URTEAGA, M^a M., (1987): “Los bronceos romanos de Higer, Hondarribia (Gipuzkoa)”, *Munibe (Antropología-Arkeología)* 40, Donostia-San Sebastián, 112-122.
- URTEAGA ARTIGAS, M^a M., (2002): “La ferrería de Agorregi y el contexto patrimonial de las instalaciones siderúrgicas guipuzcoanas”, *La ferrería y los Molinos de Agorregi, (Aia) I, Historia de una Restauración*, Diputación Foral de Gipuzkoa, Donostia-San Sebastián, 47-124.
- URTEAGA, M. M. (en prensa): *Antigüedad romana en Hondarribia y en la desembocadura del Bidasoa*.
- URTEAGA, M. y LÓPEZ, M. M. (1998): “La fortificación medieval de

Azpeitia”, *Arkeolan* 5, Irún, 21-22.

MORAZA, A. y PÉREZ, J. M. (2000): “Plaza Berri (Azkoitia)”, *Arkeoikuska* 00, Vitoria-Gasteiz, 388-391.

MUGIKA, J. A., (1988): “Herriko Barra (Zarautz, Gipuzkoa)”, *Arkeoikuska* 88, Vitoria-Gasteiz, 100-102.

_____ (1987): “Prospecciones en Gipuzkoa: Revisiones arqueológicas submarinas en Getaria”, *Arkeoikuska* 87, Vitoria-Gasteiz, 75-76.

Notas

¹ La intervención arqueológica fue dirigida por J. A. Mugika Alustiza, descubriéndose un nivel arqueológico datado hacia el 5.800 conservado entre los lodos de la antigua marisma de Zarautz a -5 m de profundidad, (Mugika, 1988).

² Excavación dirigida por M. Urteaga.

³ El test se lleva a cabo en una inmersión de agua destilada, contando con medidores homologados en el mercado.

⁴ Este proyecto ha cubierto las fases de redacción del plan arquitectónico básico y de ejecución, estudio de viabilidad y museográfico; las obras han comenzado hace unos meses y se espera que pueda abrir sus puertas para el verano del 2004.

⁵ Dirigida por M. Urteaga y J.A. Mugika.

⁶ La excavación arqueológica de las presas de Errazti fue dirigida por I. Zaldúa en el marco del Curso de Formación de Jóvenes en Arqueología Urbana, contándose con el respaldo económico de la Confederación Hidrográfica del Norte.

⁷ Intervención arqueológica dirigida por M. Gereñu y M. Urteaga.

⁸ Dirigida por M^a M. López Colom y M^a M. Urteaga.

⁹ Intervención arqueológica dirigida por M. Urteaga y L. Amondaray.

¹⁰ Intervención arqueológica dirigida por P. Alkain.

¹¹ Intervención arqueológica dirigida por M. Urteaga y L. Amondaray.

¹² Intervención arqueológica dirigida por P. Alkain.

¹³ Campañas dirigidas por Manu Izaguirre desde 1984 a 1992. *Arkeoikuska*, 1984 a 1992, Ed. Dirección de Patrimonio Cultural Vasco.

¹⁴ Campañas dirigidas por Manu Izaguirre desde 1984 a 1992. *Arkeoikuska*, 1984 a 1992, Ed. Dirección de Patrimonio Cultural Vasco.

¹⁵ Todas estas campañas han sido dirigidas por Ana Benito. *Arkeoikuska*, 1987 a 2001, Ed. Dirección de Patrimonio Cultural Vasco.

¹⁶ Excavación dirigida por Miren Ayerbe.

¹⁷ A. M. *Legazpi*, Caja 1, Doc. 21.

**MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE LOS MATERIALES
HALLADOS EN EL PUERTO DE IRÚN (*OIASSO*)**

Giorgio STUDER

Servicio de Patrimonio Histórico-Artístico. Diputación Foral de Guipúzcoa

Introducción

La ingente cantidad de material hallado en las excavaciones del antiguo puerto de *Oiasso* y su innegable valor estructural, reflejan una intensa actividad portuaria. Tras haber pasado casi dos mil años enterrados en la marisma, en el sedimento transportado por el río Bidasoa, y depositados en su estuario, los objetos muestran un estado de conservación relativamente bueno. Su permanencia en un ambiente anaeróbico saturado de agua ha actuado de agente conservador, permitiendo que no sufrieran una degradación excesivamente rápida, aunque no todos los materiales hallados han tenido un comportamiento homogéneo. Los materiales orgánicos, es decir la madera, el cuero, las cuerdas y las semillas habían sufrido un debilitamiento en su formación estructural debido al prolongado tiempo transcurrido sumergidos en el agua; los objetos metálicos, sobre todo los metales nobles, el plomo y los de aleación de cobre, se han conservado manteniendo un alto porcentaje de núcleo metálico sano. No sucedía lo mismo con los objetos de hierro que se hallaban completamente convertidos en óxidos. Por lo tanto, para emprender la acción de extracción del limo de dicho material había que tener en cuenta algunos factores importantes entre los que destacan su composición, la fragilidad, las posibles fragmentaciones y la posición de ciertos elementos formando parte de estructuras más complejas.

El trabajo más complejo e importante en el yacimiento situado en la calle Tadeo Murgia fue la recuperación y la extracción de los restos de un embarcadero compuesto por dos hileras de aproximadamente dos metros de ancho y cerca de 10 m de longitud cada una. Esta estructura se apoyaba sobre un lecho de piedras; estaba constituida por una alineación de troncos, ramas y tablas que iban desde tierra firme hasta alcanzar la línea del agua, salvando un desnivel de aproximadamente 30 cm. Los diámetros de las ramas más finas, que delimitaban el inicio de la grada, no superaban los 2 cm, aumentando gradualmente de tamaño hasta los 30 cm de las vigas colocadas en su extremo en contacto con el nivel del agua y que se encontraban apuntaladas con estacas como tope del mismo (Lámina I).

Se barajaron varios métodos de extracción, sobre todo evaluando la posibilidad de una futura ubicación de parte de esta estructura debidamente tratada y restaurada en el museo *Oiasso* de Irún. Se optó por intervenir exclusivamente sobre piezas enteramente recuperables documentando perfecta-

mente la extracción de cada una de ellas. Para las que presentaban demasiadas lagunas o se hallaban muy fragmentadas se actuó realizando unos moldes de poliuretano como testimonio de su posición, facilitando así su posterior reconocimiento (Lámina II).



Lámina I: Muelle



Lámina II: Detalle del molde de poliuretano

Intervención

Antes de iniciar los trabajos de extracción se confeccionaron unos recipientes construidos en madera de pino de 2,50 m de largo, 1 de ancho y 0,70 de alto. La construcción de estos contenedores se efectuó con dos propósitos básicos: en primer lugar, para que sirvieran como almacenamiento temporal de los elementos del muelle empapados en agua quedando para ello transformadas en unas bañeras estancas, que además funcionarían como “jaulas” contenedoras de las piezas y pudieran ser sumergidas en un embalse con agua corriente para su proceso de desalinización. Considerando el limitado tiempo que se iban a utilizar y para no incurrir en altos costes, se optó por su construcción en madera. En la primera fase se forraron los contenedores con una doble capa de plástico negro muy resistente, llenándolas de agua a medida que se iba introduciendo el material extraído. Como ya se ha mencionado anteriormente, la tarea consistía en extraer cada elemento del muelle individualmente, limpiando previamente todo su entorno de barro y limo, lavándolo con agua y dejándolo, en la medida de lo posible, libre para efectuar *in situ* la operación de engasado con gases hidrófilas. El engasado envolvía el objeto por completo, al margen de si se hallaba íntegro o fragmentado, acoplándole antes de moverlo un soporte rígido de aluminio para las piezas más pequeñas y medianas, y de madera o con tubos de PVC cortados longitudinalmente por la mitad, para las más grandes (Láminas III y IV). Las piezas así engasadas y reforzadas se colocaban en las cajas-bañeras previamente depositadas en un local ciego con toma de agua y desagüe. El agua de los contenedores se renovaba una vez a la semana para evitar la proliferación de agentes biológicos y sin añadir ningún tipo de solución biocida (Lámina V).

Para completar esta operación se emplearon cuatro semanas y, una vez finalizada la recuperación de todos los elementos del muelle, se vaciaron las



Lámina III: Trabajo de extracción



Lámina IV: Extracción

cajas y como se había previsto, se reconvirtieron en jaulas sustituyendo el plástico negro por una red de plástico de malla fina. Se volvieron a introducir los elementos del muelle, distribuyéndolos por tamaños y en base a los diferentes pesos entre los cuatro contenedores para dejar equilibrado el contenido de cada caja. Finalmente se transportaron con un camión grúa a un embalse de agua dulce en la periferia de la ciudad el cual se vació para la ocasión hasta la mitad de su contenido habitual, pudiendo así fijar unos anclajes a expansión a tres metros de profundidad en la pared, calculando un amarre para atar cada extremo de las jaulas (Lámina VI). Se evitó así que flotaran una vez se volviera a llenar de agua el embalse hasta alcanzar su nivel original. Se tomó la determinación de llevar las piezas a dicho embalse ya que tiene la particularidad de recibir continuamente agua, lo que permite su constante regeneración, posibilitando así el éxito en el proceso de desalinización. Durante varios meses permanecieron sumergidas, periódicamente supervisadas, hasta cumplir con la última etapa de programa de tratamiento que consistía en enviar la mayor parte de los elementos del muelle al *Atelier Régional de Conservation Nucléart de Grenoble* para que se les aplicara el tratamiento de consolidación por PEG y su posterior secado mediante el método de la liofilización (Lámina VII).



Lámina V: Bañeras temporales



Lámina VI: Trabajos de anclaje

Otros materiales

Generalmente los utensilios para la higiene personal, las dietas y el vestuario (restos del calzado) eran de material orgánico. Hay que tener en cuenta que se hallaron alfileres, que se realizaban en hueso (además de los de



Lámina VII: Embalse

metal); los peines normalmente de madera, las suelas de zapatos que eran de cuero y se encontró una variada tipología de semillas. A todo esto se puede añadir el hallazgo de algunos dados de juego de hueso, algunas decenas de fragmentos de sogas de fibra vegetal y los restos de material orgánico no identificado. Muchos de estos objetos fueron hallados después de la limpieza mediante la criba o se recogieron con mucho cuidado pero sin una específica técnica, mientras que por el contrario, con algunos fragmentos

de sogas y con algún que otro elemento de madera, se procedió a su extracción con su base de lodo incluida, reforzando con planchas de aluminio (Láminas VIII a XI). Seguidamente el trabajo de campo del restaurador fue el de eliminar la base utilizando instrumental específico para dicha labor y un pequeño chorro de agua mediante un aerógrafo conectado a un compresor regulado a la mínima potencia. (Láminas XII-XIII).

Terminada la limpieza previa, todo el material de procedencia orgánica, ya fueran objetos individuales o conjuntos acompañados de su número de contexto y accesión se guardaron, confeccionando para ello, unas bolsas a medida, introduciendo con las piezas unos soportes rígidos de poliuretano, siempre en base a las diferentes necesidades, añadiendo agua, convirtiéndolas en estancas y termosellando sus extremidades. Para evitar la proliferación de agentes de deterioro, se añadieron unas gotas de fungicida al agua de cada bolsa y se almacenaron en unos arcones frigoríficos a una temperatura constante de +5 °C (Lámina XIV).

La enorme cantidad de fragmentos de cerámica encontrados en el curso de las excavaciones y de los sondeos arqueológicos en Irún han permitido realizar un amplio estudio sobre los contactos comerciales de la ciudad de *Oiasso*. Con parte de ellos se han podido reconstruir algunas de las tipologías estudiadas. Toda esta cerámica fue sistemáticamente desalinizada según fueron halladas en el yacimiento efectuando periódicamente los pertinentes controles de medición de la salinidad.

Entregados en el laboratorio se consolidaron los fragmentos más deteriorados, sobre todo para fijar el engobe de la cerámica sigillata en fase de craquelamiento y en algunos casos también en fragmentos de recipientes de



Lámina VIII: Martillo de madera *in situ*



Lámina IX: Martillo de madera

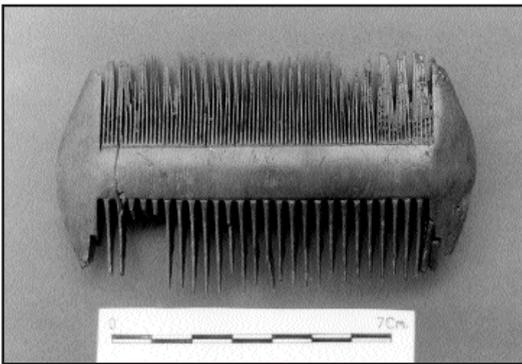


Lámina X: Peine de madera

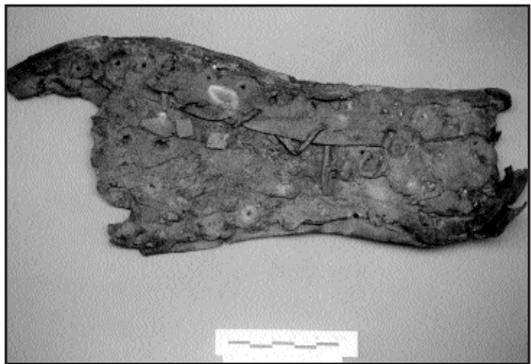


Lámina XI: Suela de cuero

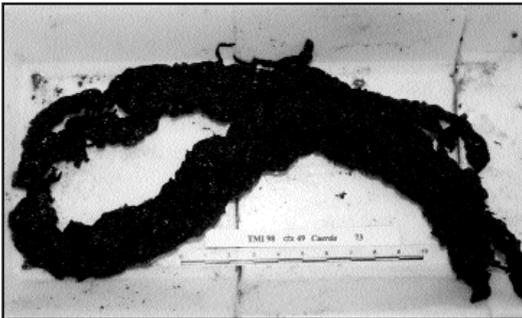


Lámina XII: Soga



Lámina XIII: Proceso de limpieza

cerámica común. De todos modos, en general, este último tipo de material se conservaba en buen estado. Como ya se ha mencionado, se realizaron algunas reconstrucciones de diferentes tipologías de vasija, en aquellos donde fueron hallados suficientes fragmentos como para completarlas, ampliando con material sintético la ausencia de las piezas originales y realizando sólo integraciones parciales donde la continuidad no era evidente. (Láminas XV-XVI).

Los objetos de uso cotidiano en aleación de cobre encontrados tienen una estrecha vinculación con las actividades desarrolladas en la costa y en el puerto y también de tipo personal como joyas, accesorios del atuendo e instrumental médico. Se ha constatado un alto porcentaje de zinc en la aleación del cobre en objetos como anzuelos y lanzaderas para redes que se hallaban recubiertos de una costra negro-azul de sulfuro de cobre. El material numismático, objetos de decoración o simplemente de utilización diaria son sobre todo de aleación de cobre con mayor o menor cantidad de estaño. De todas formas, la ubicación de la pieza, si se encontraba en contacto con algún elemento orgánico o metálico de otra índole o bien se hallaba sumergido en el lodo, resultan ser factores que han condicionado el estado de conservación. Todos presentaban su capa de normal oxidación y conservaban intacta su estructura original.

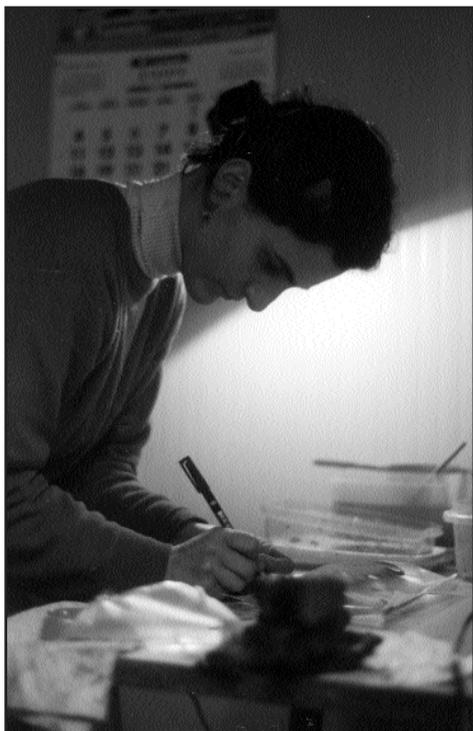


Lámina XIV: Preparación de las bolsas herméticas

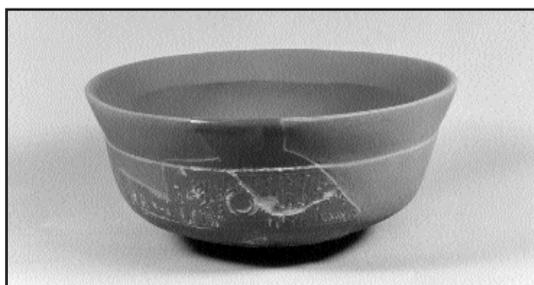


Lámina XV: Reconstrucción total de recipiente cerámico



Lámina XVI: Reconstrucción parcial de recipiente cerámico

En casos puntuales y a la espera del transporte al laboratorio para su tratamiento, estos objetos se conservaban depositándolos en contenedores de agua desmineralizada, renovada periódicamente. El tratamiento en el taller de restauración se basó principalmente en la desalinización en baños de agua desmineralizada. Los objetos se limpiaron manualmente para eliminar las costras de tierra y suciedad amalgamadas con la formación de los óxidos. Se

neutralizaron las posibles reparaciones de óxidos con una solución química y finalmente se protegieron con la aplicación de una película acrílica para posteriormente almacenarlos en un depósito perfectamente climatizado.

Para concluir estos apuntes sobre la extracción y el tratamiento de objetos y materiales encontrados en los yacimientos en la localidad de Irún (la antigua *Oiasso*), hay que destacar el excepcional estado de conservación de los elementos orgánicos y de los metales nobles o semi-nobles. Por el contrario, los objetos de hierro que han llegado hasta nosotros se habían transformado completamente en óxidos sin rastro de núcleo metálico y con fuertes afloramientos de cloruros y de sulfatos. Fundamental fue el proceso de la eliminación de las sales solubles de estas piezas introduciéndolas en un baño térmico con una solución alcalina y dejándolas varios meses. El tratamiento tras del secado en un horno de aire forzado continuó con la aplicación de una solución a base de ácido tánico y finalmente, protegiéndolos con una mezcla de ceras microcristalinas. Para su almacenamiento se confeccionaron unas camas rígidas colocándolas en unas cubetas estancas de diferentes tamaños dependiendo de las necesidades y añadiendo una cantidad adecuada de gel de sílice.

Bibliografía

- URTEAGA, M. (1996): "Nuevos hallazgos romanos en Irún-Oiasso", *Arkeolan 1*, Irún, 26-27.
- URTEAGA, M. (1998): "Los contactos comerciales de la ciudad de Oiasso: la cerámica del puerto de la calle Santiago", *Arkeolan 4*, Irún, 15-19.
- URTEAGA, M. (1999): "Excavaciones en el puerto romano de Tadeo Murgia (Irún)", *Arkeolan 6*, Irún, 16-21
- URTEAGA, M. (1999): "Artesanos del vidrio en la ciudad romana de Oiasso", *Arkeolan 7*, Irún, 6.
- URTEAGA, M. (2000): *Arqueología romana en Gipuzkoa*, *Arkeolan 8*, Irún.
- URTEAGA, M. (2001): "Se repiten los hallazgos romanos en la calle Santiago de Irún", *Arkeolan 10*, Irún, 16-17.
- URTEAGA, M. (2002): *Erromatar Garaia, Bertán 17*, Diputación Foral de Guipúzcoa, San Sebastián.

**DETERIORO POSTEXCAVACIÓN E INTERVENCIÓN
DE CONSERVACIÓN EN PIEZAS DE LOS PECIOS
GUADALUPE, TOLOSA Y CONCEPCIÓN
(EXPOSICIÓN *HURACÁN 1724*)**

Prof. Joaquín BARRIO MARTÍN
Dpto. de Prehistoria y Arqueología de la U.A.M., 28049 Madrid
joaquín.barrio@uam.esm

Introducción

El trabajo que presentamos hoy es el resultado de un Proyecto que se ejecuta a instancias de la Dirección de Proyectos del Museo CosmoCaixa de Alcobendas (Madrid), perteneciente a la Fundación la Caixa, siendo requerida nuestra presencia a fin de comprobar el estado de conservación de algunas piezas que integraban parte del material expositivo de *Huracán 1724*, ante la degradación evidente que mostraban muchas de ellas. En dos visitas sucesivas a finales de 2000 y a comienzos de 2001 pudimos comprobar la gravedad del estado de conservación en que se encontraban un buen número de objetos procedentes de dicho hallazgo arqueológico. El objetivo, por tanto, por el que fue necesaria nuestra intervención y sobre el que se sustancia el presente estudio, no era otro que atajar, hasta donde fuese posible, el deterioro de estas piezas para poderlas integrar a la mayor brevedad en la exposición.

La situación y estado en que encontramos estos objetos no era nada extraña al haber sido recuperados en un hallazgo subacuático, pues los problemas de alteración físico-química que se hacen patentes con el paso del tiempo, son sólo la muestra de un proceso de adaptación de las piezas a un nuevo ambiente, el "medio aire", en el cual las variables (HR, T, luminosidad, contaminantes, PH, salinidad...) se presentan completamente distintas a las que en su día disfrutaron en el "medio agua" durante más de cuatrocientos años (WATKINSON y NEAL, 1999). Además, es muy posible que en el futuro estos problemas sigan apareciendo en piezas que aún se manifiestan en una situación aceptable. Nuestro trabajo, por ello, quiere ser una llamada de atención en este sentido; cada vez se destaca con mayor énfasis el cuidado permanente que precisan los objetos que proceden de investigaciones arqueológicas submarinas, habiendo de controlarse con cierto detenimiento y periodicidad los parámetros en que se establecen las variables indicadas, pues sólo una técnica eficaz de "conservación preventiva" hará que se mantenga con integridad la totalidad de dicha colección perteneciente a los pecios *Ntra. Sra. de la Concepción, Conde de Tolosa y Nuestra Sra. de Guadalupe*.

Es muy importante apuntar, por otra parte, que se trata de piezas que ya han sido restauradas o intervenidas por los restauradores de la República Dominicana, propietaria de la colección, con procedimientos de limpieza y técnicas de estabilización que suponemos fueron eficaces y ajustados a los medios disponibles en su momento. De los datos aportados sobre estas res-

tauraciones daremos cuenta en nuestro análisis; bien es verdad que su conocimiento ha resultado imprescindible para acometer la ejecución del trabajo. El criterio que se siguió en las intervenciones, a nuestro modo de ver, fue el siguiente: restaurar y conservar, pero manteniendo muchos elementos del ambiente marino. Es muy posible que, primando un criterio expositivo, se reitera la situación original del hallazgo, dejando para ello adheridas a las piezas buena parte de los depósitos y concreciones marinos, que a la postre han tenido mucho que ver con la activación *a posteriori* del deterioro. En su día, se abordó el deterioro propio del ambiente marino, pero de una manera incompleta como se ha revelado ahora en algunas piezas. La presencia que suponemos masiva de cloruro de sodio en el interior de la mayor parte de los objetos, en unión con las nuevas condiciones medioambientales de Madrid - un clima con menor HR que en Barcelona, a lo largo de todas las estaciones son las dos causas desencadenantes del proceso, que sin duda es mucho más complejo en los términos concretos de cada uno de los materiales orgánicos o inorgánicos tratados por nosotros.

La formulación y gestión de este proyecto de conservación y restauración, se hace desde una perspectiva multidisciplinar, absolutamente actual en el campo que nos compete de la conservación moderna, donde la investigación científica sobre los problemas que suceden a las piezas sea algo imprescindible en cada una de las intervenciones. Sin embargo, parte de la analítica prevista no pudo realizarse porque no fue posible, por motivos de seguridad, sacar las piezas del Museo CosmoCaixa; no obstante, pudimos llevar a cabo algunos análisis a partir de pequeñas muestras que no afectaban, ni a la integridad física ni al contenido estético, tomadas de los productos de alteración desprendidos en el proceso de deterioro. El análisis de estas muestras fue realizado en el Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido -MEB- del SIDI de la UAM, que cuenta con el equipamiento, la solvencia y la experiencia necesarios para un trabajo de tales características.

Es importante reiterar, pues afectó a nuestras posibilidades de desarrollo de algunos procedimientos de limpieza o de consolidación, que, a causa de las medidas de seguridad precisas y exigibles por los depositarios de la Colección, no pudo llevarse a efecto la ejecución en el Laboratorio del Dpto. de Prehistoria y Arqueología de la UAM. Se pudo en alguna manera solventar montando un laboratorio temporal en las instalaciones de CosmoCaixa, disponiendo de todos los medios posibles, pero en ningún caso de todo el equipamiento preciso, en especial en cuanto se refiere a los equipos técnicos necesarios para llevar a cabo tratamientos de mayor complejidad. No obstante, haciendo gala de buena voluntad y disposición por ambas partes, se han podido ejecutar el grueso de los tratamientos propuestos en el Proyecto inicial, garantizando en todos los casos la mejora de las condiciones de conservación de las piezas, para ser de nuevo expuestas con la mayor premura.

Criterios y objetivos de la actuación de conservación/restauración

Para entender bien los criterios sobre los que se ha articulado nuestro trabajo, resulta primordial tener en cuenta el tiempo disponible para la ejecu-

ción, que pocas veces se valora como un término más a conjugar, pero que tanta importancia tiene a la hora de efectuar los procedimientos de restauración, a la vez que para investigar con cierto detalle procesos de alteración complejos, como el que se produce en el material orgánico o metálico. Nuestro tiempo fue breve, un par de meses, salvo en el caso del *Niño de Atocha*, corto para el desarrollo de trabajos de decoloración precisos en muchas piezas, a la vez que justificado por la necesidad de ubicar de nuevo estos objetos singulares en la exposición *Huracán 1724*.

Como hemos explicado, se trata de una intervención post-restauración provocada por la progresiva degradación de las condiciones físicas de las piezas durante su período de exposición. Como resultado de los trabajos de restauración de la 1ª intervención en la R. Dominicana, cuando los materiales de la exposición llegaron a Barcelona estaban bastante estabilizados, aunque no exentos de algunos productos de alteración que se podían activar como consecuencia de las nuevas condiciones expositivas y de las variables medioambientales (compuestos ácidos orgánicos, HR, T. contaminantes, vibraciones...)

El criterio primordial ha consistido en frenar este deterioro expositivo adoptando soluciones restauradoras y de mantenimiento preventivo.

Algunos de los criterios de trabajo de este Proyecto han estado vinculados, en buena medida, a los procedimientos expositivos de *Huracán 1724*, intentando corregir la incidencia de estas medidas en los materiales tratados, haciendo uso de técnicas bien conocidas y sencillas, para que estos objetos, especialmente los más vulnerables, pudiesen volver cuanto antes a ser expuestos en condiciones de conservación adecuadas.

El punto a que ha llegado esta situación de deterioro no creemos que se debiese a una actuación grave y premeditada de los servicios de mantenimiento de la exposición, en modo alguno, sino más bien al desconocimiento de las medidas que debían de aplicarse en casos tan específicos como los metales y el marfil, y a una falta de criterios dados por las personas responsables del diseño expositivo de *Huracán 1724*, que se deberían de preocupar también para que en la exposición se garantizaran las variables de conservación apropiadas a cada caso concreto. Se pone de relieve, una vez más, la minusvaloración de los aspectos de conservación o la sobrevaloración y la prevalencia de los aspectos expositivos del diseño museográfico, frente a las medidas de conservación eficaces de las obras expuestas, algo que no es achacable sólo a esta exposición de la Fundación la Caixa sino que viene siendo norma en muchas otras.

La tarea del mantenimiento de piezas tan delicadas, procedentes de excavaciones submarinas, tiene un proceso de desarrollo largo y delicado, con medidas específicas desde que las piezas son extraídas (AMITRANO, 1987; ROBINSON, 1981; HAMILTON, 1997; WATKINSON/NEAL, 1999) y que no termina cuando se acaba su restauración o intervención restauradora, sino que debe de continuar permanente tanto en los períodos de exposición como en los períodos de almacenamiento. Es un hecho que debe ser abordado con

un principio de actuación claro por parte de los responsables de conservación de las colecciones.

Cabe por tanto apuntar que, un criterio importante que se debe de tener muy en cuenta de cara a la conservación de los objetos vulnerables (orgánicos o inorgánicos como los metales), es que este tipo de materiales no pueden ser abandonados a su suerte, como se hace habitualmente con objetos como las cerámicas o materiales líticos, que admiten un menor cuidado (BINET, 1996). Era primordial en el Proyecto, con esta condición previa, que no es otra cosa que una toma de postura, garantizar en todos los casos la mejora de la situación físico-química de las piezas.

Puesto que debíamos actuar no sólo sobre las condiciones microclimáticas exógenas, sino también sobre las piezas y su material constitutivo, el criterio básico por el que conducir nuestra intervención será recuperar una legibilidad expositiva más adecuada, eliminando los elementos de deterioro que han surgido y degradan la presencia visual de cada objeto. Ello se hizo corrigiendo los problemas más serios y urgentes que les acometen, recuperando los elementos degradados, proporcionándoles en todos los casos una mayor solidez a su estructura física y una protección más eficaz, aunque somos conscientes de que no puede ser total ante las variaciones del medio, tanto en la exposición como a posteriori.

En cuanto a la corrección y recuperación de problemas físicos importantes, el criterio de reintegración no fue uno de los principales, y sólo se aplicó en el caso del *Niño de Atocha*. Puesto que nuestra intervención sobre esta pieza de marfil era fundamentalmente conservativa, ya descartamos desde un primer momento, la reintegración de las lagunas existentes originales. En ningún caso, la ausencia de partes físicas de este *Niño Jesús* impedían mantener una correcta lectura de sus características estéticas. Incluso la separación de los dos brazos de su posición original o la falta de los pies eran impedimentos para su adecuado reconocimiento estético y simbólico. Sólo se reintegraron con una solución neutra alguna de sus fisuras principales.

Las más graves deficiencias de su estado de conservación endógeno vienen propiciadas por la existencia de iones Cl en su interior, en consecuencia con su procedencia submarina. La solución más importante habría sido llevar a cabo en las piezas metálicas y orgánicas, una extracción intensa de las sales presentes en su interior; un problema ocasionado y derivado de su prolongada estancia en el fondo del mar. Sin embargo, no se pudo acometer un proceso de dechloruración muy exhaustivo, lo que supone prolongar mucho más el tiempo de tratamiento, pues las piezas afectadas deberían haber permanecido fuera de la colección durante mucho tiempo, entre nueve y doce meses, y por tanto, sin cumplir su cometido expositivo.

Y finalmente, consideramos fundamental el criterio de mantenimiento activo. Como ha quedado patente en estas líneas, en un proyecto de este tipo, y con las características de deterioro que se detallarán, resultaba imprescindible planear unas condiciones de control ambiental precisas, especialmente para los materiales orgánicos más sensibles, caso del marfil. Para ello se

pensó en un sistema propio de vitrina para el *Niño Jesús de Atocha* donde este control fuese posible. Y así mismo, durante los meses siguientes a la finalización del trabajo de restauración, se ha comprobado periódicamente el estado de conservación en que se encontraban las piezas intervenidas, ajustando las medidas de conservación preventiva en los casos en que éstas se habían puesto en funcionamiento; en los casos en que se encontraban las piezas en las vitrinas originales de la exposición, atisbar cualquier aparición de productos de deterioro serios.

Desarrollo del proceso de conservación/restauración

Los epígrafes que vamos a referir en cada una de las piezas o grupo de piezas similares están dedicados a la descripción morfológica y tecnología de manufactura, a la valoración del estado de conservación y productos de deterioro reconocidos, y a la presentación de los procedimientos y técnicas aplicados en la intervención, con una breve anotación, si disponemos de ella, de los tratamientos efectuados en la 1ª intervención en la R. Dominicana. En cuanto a las condiciones de mantenimiento post-intervención, dejar de manifiesto que las apuntaremos de manera singularizada, especialmente cuando la vulnerabilidad del objeto u objetos lo requieran.

Los materiales inorgánicos en hierro

1. Palanquetas.

Es un objeto muy característico de hierro formado por dos esferas macizas unidas por un vástago de sección cuadrangular. Se trata de una pieza ejecutada en hierro colado para las bolas y forjado con posible estirado en frío para la espiga central de unión, con soldaduras en caliente. El golpeado de la forja se nota a simple vista en la varilla de unión de las dos esferas. Ambos tipos de trabajo del hierro ha contribuido a diferenciar las características del deterioro.

Evaluación del estado de conservación

Lo hemos establecido como muy deficiente, especialmente en las estructuras esféricas (Lám. I). La corrosión evidencia plena activación, quizás debido en última instancia a los cambios de los valores higrotérmicos. Se muestra una fuerte corrosión del hierro en forma de escamaciones desprendidas progresivamente, debida a los iones Cl⁻ presentes en los óxidos de hierro que al cristalizar en una atmósfera de menor HR actúan mecánicamente presionando las láminas de hierro hacia el exterior. Espe-



Lám. I: Palanquetas. Detalle particular de la fuerte escamación de una de las esferas antes de la restauración

cialmente dañina es la presencia de la akaganeita (β -FeOOH), cuyo poder destructor es reconocido por cualquier restaurador de hierros arqueológicos (FELL y WARD, 1998; SELWYN, SIROIS y ARGYROPOULOS, 1999 y 2001). Le acompañan otras formas de alteración, como óxidos e hidróxidos de hierro, que se presentan destrozando una capa exterior mineralizada formada de magnetita. La pérdida física es muy grave en una de las esferas, e imposible de recuperar al haber desaparecido algunas escamas.

Sobre una de las escamas desprendidas realizamos un análisis con la muestra sin preparar mediante técnica de Microscopía Electrónica de Barri-do, completándola con analíticas EDX (Lám. II y Fig. 1). Ello nos permitió comprobar y registrar la presencia de iones de Cl en una proporción sufi-cientemente alta para pensar en la presencia de Akaganeita; el crecimiento de

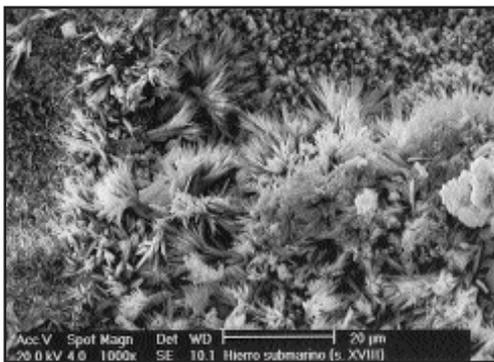


Lámina II: Macrofotografía de MEB de las agujas de los productos de corrosión de una de las escamas desprendidas (Lab. de MEB del SIDI -UAM-)

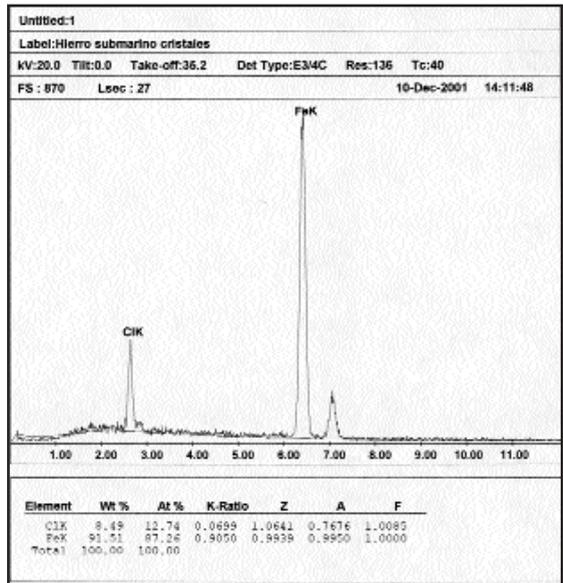


Figura 1: Gráfica de espectro EDS y composición de la muestra de la Lámina IV

estos cristales es evidente en el fondo de los cráteres que horadan el hierro fundido en los puntos de corrosión, mucho más patente en las esferas fundidas que en el vástago de unión. Es bien conocida en la bibliografía la mayor inestabilidad de los hierros colados como los de las esferas de las palanquetas, después de llevar una estancia prolongada en el agua del mar (REES-JONES, 1972). Sin embargo, como se manifiesta en las palanquetas, las superficies de estos hierros colados son protegidas del avance de la corrosión por las incrustaciones coralinas (PEARSON, 1972).

Tratamiento de intervención

Para entender mejor nuestra actuación creemos necesario hacer mención de los datos de la restauración realizada en su día en la R. Dominicana. De la información proporcionada por el Museo, la primera intervención se desarrolló en los siguientes términos:

"Después del rescate, la pieza permaneció almacenada alrededor de 5 años en una solución de sexquicarbonato de sodio hasta el proceso de conservación. Se lavó en agua corriente y un cepillo de hierro. Se sumergió en una solución de ácido fosfórico al 20% por varios días, seguido de un lavado con agua corriente y un cepillo de hierro. Fue secada en el horno y protegida con parafina sólida".

Nosotros, por nuestra parte, en esta segunda intervención desarrollamos el trabajo en las siguientes etapas. Primero se hizo una recuperación ordenada de las escamas en situación de desprendimiento inmediato, a fin de poderlas integrar *a posteriori*. Las pequeñas lascas recogidas en la vitrina y en la caja de embalaje se han guardado para comprobaciones analíticas futuras.

Para la eliminación de la capa de protección de parafina efectuamos una inmersión en disolvente White Spirit y cepillado consecuente con brocha de cerdas suaves, cambiando la disolución hasta tres veces. Fue seguido de un lavado final con mezcla al 50% Sileno/Acetona para eliminar los óxidos e hidróxidos más blandos.

El trabajo más minucioso consistió en una limpieza mecánica con ayuda de torno y fresas/cepillos de acero blando para eliminar la corrosión pulverulenta de todos los puntos accesibles, donde la presencia de akageneita era manifiesta por los datos de EDX, seguida de lavado en la mezcla indicada. Es un procedimiento que nosotros hemos utilizado en numerosas ocasiones con resultados positivos, previa la decloruración (BARRIO Y MARTÍNEZ, 2002). Cualquier tratamiento de decloruración lento en base hidróxido de sodio o sulfito alcalino que se prolongaría durante 9-12 meses fue desestimado, de acuerdo con la dirección del Museo, por la necesidad de contar con las piezas cuanto antes en la exposición. Por otra parte, en el laboratorio provisional que tuvimos necesidad de montar, no podíamos abordar ningún otro tratamiento de incidencia más rápida como los que se están poniendo de relieve en la actualidad (DELAD, GOURBEYRE y DEGRIGNY, 2002). En el futuro, sin duda es una tarea pendiente de hacer una vez se haya terminado *Huracán 1724*.

Para eliminar cualquier resto de H se hizo un mantenimiento durante 7 días en estufa a una T de 105° C. Entonces fue posible la integración de las

escamas y recuperación de la superficie original con resinas termofusibles con carga de color (epoxídicas); estas mismas resinas se usaron para reintegrar pequeñas lagunas (Lám. III).

La protección final se hace en caliente y en bomba de vacío, con una combinación copolímero acrílico (Paraloid B72) -5%- y cera microcristalina -2%- en disolución de mezcla al 50% Sileno/Acetona. Secado progresivo con paso desde estufa a



Lámina III: Palanquetas. Detalle de la reintegración estética en uno de los extremos esféricos



Lámina IV: Palanquetas. Aspecto general de la pieza después de intervenida

temperatura ambiente a fin de asegurar la buena inmersión de la cera en todas las fisuras y poros. Hay otras alternativas con Paraloid-B44, en que descartan la aplicación de cera (SCHMIDT-OTT y BOISSONNAS, 2002) pero nuestra experiencia con numerosos hierros y la de otros investigadores, siempre muy positivas, nos han decantado por la solución mejor conocida y con comprobaciones testadas en los últimos diez años en ambientes y materiales muy diversos (Lám.IV).

Medidas de conservación preventiva y mantenimiento

Durante el tiempo de la exposición en la Comunidad de Madrid, se debe mantener el control de la HR en niveles que no superen el 40%, evitando especialmente los cambios bruscos de bajada y subida. Esto no es complicado, pues la tasa higrométrica habitual medida en vitrina no supera el 45%. De todos modos, sabemos por la experiencia con hierros con fuerte presencia de iones Cl⁻, que con tasas incluso por debajo del 10% de HR se puede activar este tipo de corrosión.

Una vez terminada *Huracán 1724*, y disponiendo del tiempo necesario, sería muy conveniente realizar un proceso de decloruración de los iones de Cl⁻ de hierro, que garanticen su estabilidad para el futuro.

2. Navajas de afeitar de hierro con mango de hueso

Se presenta en forma de un conjunto concrecionado del que se ha retirado la costra calcárea superior para hacer visibles las piezas. Son navajas de afeitar con mango de hueso y las hojas de acero, procedentes del pecio del galeón *Conde de Tolosa*. Su mantenimiento íntegro es posible al encontrarse insertadas en la concreción formada en el mar; de otro modo seguro, si no se hubiese tomado esta medida acertada, se hubiesen perdido para siempre.

Evaluación del estado de conservación

Las hojas de hierro de las navajas han desaparecido en la mayoría de los casos, como es lógico, por efecto de la corrosión marina en láminas metálicas tan finas. Sólo en ciertos ejemplares encontramos sus restos completamente mineralizados en el interior de las cachas de hueso (Lám.V). Estas sí han mantenido su forma y características, a pesar de los cambios que sufre el material óseo bajo el agua, como se puso de manifiesto en unos restos de huesos, aunque bien es verdad que humanos, procedentes del pecio localizado en el sudeste de Francia (ARNAUD *et alii*, 1980); sólo se percibe un ligero alabeo en algunas de ellas. Como ocurre en muchos casos, la impregnación de los óxidos procedentes de la corrosión de hierro ha contribuido a la protección de este material orgánico, pero no ha impedido que el tamaño de las cachas haya disminuido al secarse, por lo que el bloque calcáreo, cuya



Lámina V: Bloque de navajas de afeitar; situación general antes de la intervención

retracción es insignificante, les queda demasiado grande. Por ello, estaban desprendiéndose, de tal manera que su integridad como unidad expositiva peligraba. Así mismo la excesiva sequedad del ambiente ha contribuido a fragilizar las cachas, algunas de ellas ya fracturadas.

También hay que presumir que la paulatina contracción de los aglomerados calcáreos de los lados, debido a las bajas tasas de HR en la exposición, así como el manejo y transporte de este bloque, ha contribuido para que aparezcan grietas y

una fractura completa en uno de sus laterales que amenaza con desmoronar todo el bloque, lo que sería imposible de recuperar (Lám. VI).

Y ello, a pesar de que el bloque de navajas se había impregnado con parafina u otro compuesto de cera. La retracción del material orgánico en buena parte de las navajas, había alterado su posición a causa de estos movimientos intrínsecos y extrínsecos.

El problema a solucionar con nuestra intervención era el de la cohesión del bloque y el de la integración de las piezas partidas. Así mismo, reforzar en alguna medida el hueso de las cachas que se observaban más débiles.

Tratamiento de intervención

No conocemos datos de la 1ª intervención, pero es de presumir que sólo haya consistido en la impregnación con parafina con una finalidad consolidante de todo el bloque. Nuestro trabajo consistió en integrar y pegar las fracturas de la corteza calcárea con resinas epoxídicas con carga de color, así como en reforzar las fisuras y las escamas del bloque con Paraloid B-72 al 25% en Acetona. También se consolidaron las láminas mineralizadas de las hojas que se pudieron. En ningún caso se retiró la

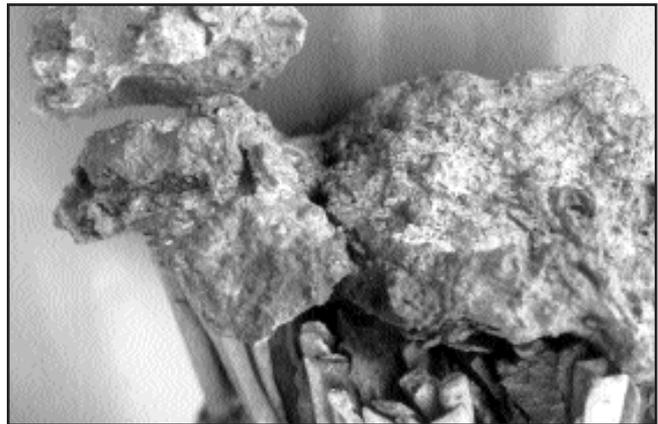


Lámina VI: Detalle de las fracturas de la costra calcárea del bloque con desprendimiento de algunas navajas

parafina de manera generalizada, pues corría un serio peligro la integridad del bloque.

Posteriormente se hizo la colocación de las navajas a su posición original con un punto de unión de Paraloid B-72. También la unión de las cachas fragmentadas se hizo con el mismo adhesivo pero con un 40% en Acetona; es un compuesto de gran flexibilidad que proporciona capacidad de movimiento a las piezas de materia orgánica en el caso de que existan pequeñas dilataciones o retracciones del material, un hecho más que previsible.

Para terminar una protección superficial de aquellas cachas que la habían perdido, con una mezcla de cera microcristalina y de Paraloid B72 (5%+7%) en Acetona/Sileno, se impregna con pincel al ambiente, pues su vulnerabilidad aconseja no hacerlo al vacío. El aspecto final es parecido al que tenían las impregnadas en parafina (Lám. VII).

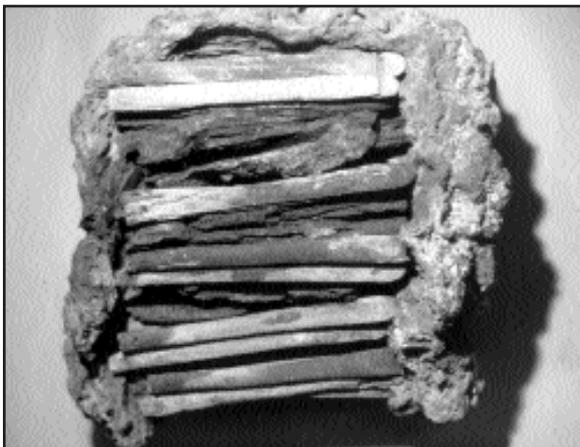


Lámina VII: Vista después de la actuación en el bloque de navajas

Medidas de conservación preventiva y mantenimiento

Principalmente afectan a su seguridad física durante la exposición. Evitar el manejo, porque para que el bloque quedase plenamente reforzado, habría que haberlo desmontado al completo, con riesgo añadido de fracturar más piezas, además de prolongar en demasía el tiempo fuera de la exposición. Evitar, a la postre, cualquier vibración que también hace que se desprendan las láminas corroídas de las hojas de su posición original entre las cachas de hueso. Elevar en lo posible la tasa de HR, para evitar una retracción mayor.

3. Cuchillos

Se trata de un par de cuchillos de tamaño medio, con filo lateral. Nada que puede saberse de su composición exacta, aunque la corrosión delata que son de hierro tanto la hoja como la espiga de la empuñadura. La forma de trabajo habitual es la forja.

Evaluación del estado de conservación

Completamente corroídos, sólo se mantiene su forma reproducida en la capa de concreciones marinas que les rodean en su totalidad. Ésta es la única posibilidad de conservar algún rastro de su existencia, aunque sea sólo reflejo de su apariencia (Lám. VIII).

La debilidad de concreción al deshidratarse ha ocasionado la fragmenta-

ción de la empuñadura de ambas piezas (Lám. IX), pudiendo observarse que en su interior el hierro está completamente mineralizando y pulverulento. También se aprecian numerosas fisuras y microfisuras en la corteza calcárea, debido sin duda a la fuerte deshidratación de los compuestos una vez han salido del agua.

Tratamiento de intervención

Conocemos algunos datos de la 1ª intervención: "Estos cuchillos fueron sometidos al proceso de eliminación de sales en agua destilada (varios baños), secados a temperatura ambiente y protegidos con Paraloid B-72 al 11%. El proceso de conservación de estos cuchillos no se completó porque los mismos no presentaban núcleo metálico". Sin duda, un procedimiento correcto en su momento.

Por nuestra parte, hicimos una limpieza superficial de las eflorescencias salinas y de los residuos de oxidación emergentes en una disolución Acetona/Sileno, seguido de una limpieza mecánica manual del interior de los empuñados, eliminando todos los óxidos que se habían convertido completamente en polvo no restando nada del hierro original.

Posteriormente, una integración de los dos mangos en su posición original, insertando en su interior una espiga de metacrilato realizada a la medida, con el objetivo de que no vuelvan a separarse, reforzando su resistencia mecánica. Ésta se adhiere con resinas epoxídicas con carga de color, con el objetivo de reforzar al máximo las fisuras y exfoliaciones de la concreción



Lámina VIII: Aspecto inicial de uno de los cuchillos



Lámina IX: Detalle de la fractura en el mango de un cuchillo



Lámina X: Aspecto final después de la intervención en el cuchillo

original, insertando en su interior una espiga de metacrilato realizada a la medida, con el objetivo de que no vuelvan a separarse, reforzando su resistencia mecánica. Ésta se adhiere con resinas epoxídicas con carga de color, con el objetivo de reforzar al máximo las fisuras y exfoliaciones de la concreción

marina; ésta es el propio elemento, ya que el hierro, en su día embutido en su interior ha desaparecido al completo. Procedemos a una consolidación con una disolución de Paraloid B-72 al 5% en Acetona/Sileno, aplicada al vacío, con dos sesiones de impregnación. Se deja secar en campana saturada de disolvente durante una semana a fin de evitar la formación de brillos sobre la capa de concreción submarina (Lám. X).

Medidas de conservación preventiva y mantenimiento

No creemos que se deban tener cuidados especiales en cuanto a la HR, pues ya no queda ningún resto metálico. Mantener el control evitando especialmente los cambios bruscos de bajada y subida para que la costra coralina no se agriete más.

En cambio sí debe extremarse su seguridad física, con un manejo cuidadoso para evitar nuevas fragmentaciones de las piezas.

Los materiales inorgánicos en aleaciones de cobre/plata

1. Monedas

Se interviene sobre 8 unidades que proceden del pecio *Ntra. Sra. de la Pura y Limpia Concepción*. El conjunto numismático lo forman monedas españolas de 8 reales del XVII, acuñadas en una aleación de plata y cobre. El trabajo se realiza tanto en monedas sueltas como en conjuntos que están soldados por los productos de la corrosión y que, a tenor de los criterios ya expuestos, no se propone descohesionar durante el tratamiento.

Evaluación del estado de conservación

Se reconoce una fuerte corrosión superficial de la plata y del cobre que lleva aleado. La causa de la degradación se debe al cloruro de cobre, muy activo en algunas de las monedas (Lám. XI). Así mismo se detectan visualmente manchas de sulfuro de plata y de cloruro de plata, aunque por lógica del funcionamiento electroquímico, la plata se encontrará mejor conservada que el cobre, pues éste se sacrifica en beneficio de la primera, al ser menor su potencial de nobleza. Además de los cloruros de sodio que infectan completamente las monedas o los bloques de éstas, la presencia de las concreciones marinas en las monedas, agudiza y agrava el estado de conservación (GOOD-BURN-BROWN, 1997), que en el futuro será mucho peor, si no se retiran los depósitos que llevan fuertemente adheridos (Lám. XII). También han incidido en la corrosión del cobre

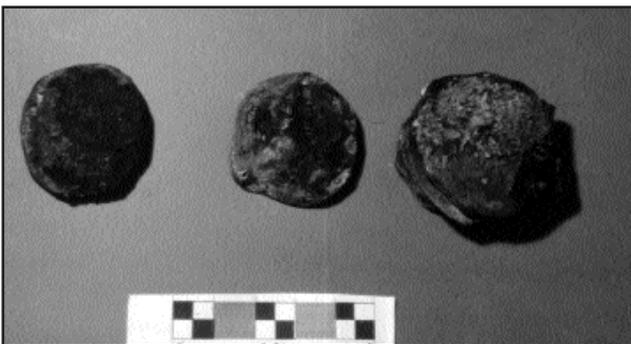


Lámina XI: Monedas. Imagen inicial de algunas monedas

completamente las monedas o los bloques de éstas, la presencia de las concreciones marinas en las monedas, agudiza y agrava el estado de conservación (GOOD-BURN-BROWN, 1997), que en el futuro será mucho peor, si no se retiran los depósitos que llevan fuertemente adheridos (Lám. XII). También han incidido en la corrosión del cobre

los compuestos ácidos orgánicos, presentes en los materiales de manufactura de las vitrinas, en las telas de recubrimiento, en las siliconas de sellado... Su actividad corrosiva (BASTIDAS *et alii*, 1995) debe ser bien tenida en cuenta en el diseño de exposiciones, si no se quiere perjudicar a las piezas metálicas con estas composiciones, por lo demás bastante habituales.

Esta corrosión como resultado, pues, muestra un catálogo en el exterior de productos de deterioro (MOUREY, 1987, 16-17; 1993, 43-47), principalmente del cobre, conformando una capa irregular de tonos verdosos, donde se amalgaman tierras, carbonatos hidratados, sulfatos, y, sobre todo, cloruros de distinto tipo (cuproso, básico e hidratado). Por lo que se refiere a la corrosión de la plata, en dicha amalgama, apenas se observa la presencia de sus productos de deterioro entre los del cobre; sin embargo, puntualmente se pueden ver puntos negros de sulfuro de plata (argentita), así como cierto empañado negro de la superficie de la moneda conforme van desapareciendo las alteraciones del cobre. También se reconocen algunos focos de cloruro de plata de color grisáceo pulverulento, pero con una incidencia minúscula, y también pequeños focos de cloruro de cobre con algún resto de carbonatos de la concreción coralina.

Así pues, la existencia mínima de sulfuros de plata, son indicativos de que el metal noble se encuentra en unas condiciones muy buenas, lo cual repercute de forma positiva en la calidad epigráfica de los textos acuñados. En otros metales, especialmente bronce, la pérdida de película superficial empeora mucho su lectura, y por tanto, sus posibilidades de investigación numismática. Esta buena conservación superficial puede deberse a que la alteración se ha llevado a cabo en un medio anaeróbico, protegidas por la rápida deposición coralina, sin que la incidencia de la abrasión haya surtido su efecto; al contrario de lo que se ha podido comprobar en otros hallazgos (BETANCOURT y ZAMBRAÑO, 2001).

El conjunto de productos de corrosión indicados, forma una capa porosa, que retiene fácilmente la humedad del entorno, por lo que su continuidad sobre las monedas lleva aparejado un problema real de deterioro constante. Dicha capa, por otra parte, es muy resistente en la película que contacta directamente sobre la plata y más blanda en la zona externa, haciendo muy difícil y con garantías su extracción mecánica.

En este caso fue posible efectuar una analítica básica. Se tomaron muestras desprendidas superficiales de los depósitos de deterioro y de los depósitos marinos que fueron analizados por MEB con EDX, pudiendo registrar la presencia de carbonatos y cloruros de cobre, así como sulfuros de plata. Des-



Lámina XII: Detalle de una de las monedas con parte de la costra calcárea y los productos de alteración

graciadamente lo ideal sería haber podido analizar también la ley de la moneda y los problemas estructurales que presentan en superficie a causa de la corrosión, lo cual no fue posible por el impedimento del traslado de las piezas fuera del Museo CosmoCaixa.

Tratamiento de intervención

Conviene indicar en este caso, por la singularidad de los hallazgos numismáticos, algunos de los criterios que hemos manejado ahora, como fruto de la reflexión y experiencia en otros trabajos anteriores sobre monedas (BARRIO, 2001):

a- El principal de todos es devolver la legibilidad (REECE, 1998) de la impronta acuñada, totalmente invisible en su original estado, a fin de que pueda llevarse a cabo el proyecto de estudio numismático.

b- Realizar un tratamiento simple, sin que requiera grandes procedimientos técnicos, que indudablemente harían más compleja y prolongada la labor. Sencillez en el procedimiento y efectividad en los resultados son las otras dos condiciones que debería cumplir.

c- Reintegrar el valor estético e histórico al conjunto monetar, sin cuya limpieza no habría opción de manifestarse, pero evitando cualquier tipo de intervención que deteriore o raye la superficie de la pieza por el valor que ésta tiene en las monedas, aunque éstas sean tan comunes como las de 8 reales (ARSLAN, 1996, 11-13).

d- Hacer posible, una vez limpias las monedas, una conservación en buenas condiciones en el futuro, sin que vuelvan a presentarse alteraciones deformantes de las características de las actuales, ni focos de corrosión activa. Por eso, el desarrollo de la conservación preventiva en las colecciones numismáticas será la mejor aportación para que las colecciones de monedas se conserven adecuadamente en las Colecciones o Museos.

También contamos con los datos referidos a su 1ª restauración. Ésta consistió en "inmersiones en ácido clorhídrico al 5%; lavados en agua corriente; electrolisis en hidróxido de sodio al 5%; lavados con bicarbonato de sodio y agua corriente; limpiezas con pasta para plata y lavados con agua corriente con secados a temperatura ambiente".

Nuestra intervención consistió en una limpieza previa de las eflorescencias de cloruros sumergiendo las monedas en una disolución de acetona, y frotando con cepillos suaves. Posteriormente, una limpieza química de las concreciones más resistentes de carbonatos y cloruros de cobre, mediante un tratamiento que nos había dado buen resultado en otras intervenciones en monedas de aleación plata/cobre, consistente en una disolución de amoníaco (25%) en agua destilada y a una T de 60° C, seguido de una neutralización en agua oxigenada de 24 vols. (10%) y metanol (90%) durante 15 minutos. Durante esta fase del tratamiento uno de los bloques se separó, al disolverse los productos de corrosión que soldaban las piezas.

Se hizo también una limpieza química complementaria de la capa de sulfuro de plata, muy potente en algunos ejemplares, introduciéndoles en una

solución de ácido fórmico al 10% en agua destilada durante 15 minutos, seguido de suaves cepillados. Con posterioridad fue necesario un secado integral y prolongado de las piezas a 105° C para aplicarle con garantías una capa de protección en caliente, que permitiera rellenar las fisuras dejadas por la degradación de la plata en aquellos intersticios donde se encontraban los cloruros y carbonatos. Se mantuvo durante 7 días en estufa a una T de 105° C a fin de evacuar todos los restos de humedad. Esta variación y alternancia de limpiezas químicas poco enérgicas ha sido aplicada con buenos resultados en otros conjuntos numismáticos donde la presencia de sales era notable, garantizando una suficiente estabilidad (LYKIARDOPOULOU-PETROU Y BELOYANNIS, 1998).

La protección final se da en caliente y en bomba de vacío, con una combinación copolímero acrílico (Paraloid B72) -5%- y cera microcristalina -2%- en disolución de mezcla al 50% Sileno/Acetona. Secado progresivo con paso desde estufa a temperatura ambiente a fin de asegurar la buena inmersión de la cera en todas las fisuras y poros (Lám. XIII).

Medidas de conservación preventiva y mantenimiento

Se debe de mantener el control de la HR en niveles bajos, evitando especialmente los cambios bruscos de bajada y subida para evitar las excesivas eflorescencias de sales. Lo ideal sería mantener la HR en torno a los 35% con una T. de 18/21 °C.

Así mismo es importante evitar la presencia de compuestos orgánicos que desprendan ácidos perjudiciales para el metal y evitar las atmósferas sulfuradas. Lo mejor sería tener las monedas en el futuro en un armario estanco de HR, T y gases contaminantes controlados (LYKIARDOPOULOU-PETROU, 2001).

Y una vez concluida la exposición de *Huracán 1724*, se debería realizar un tratamiento más intensivo de decloruración de las monedas por el sistema que se considere más conveniente.

2. Espuelas y estribo

Espuelas (una fragmentada y otra completa) y un estribo. Una vez iniciado el proceso de limpieza se pudo comprobar que su composición no era sólo bronce: en el caso de las espuelas tenían un alma de bronce y una lámina plateada externa, de la que apenas quedan unos pocos restos en la pieza fragmentada; de esta lámina superficial desprendida pudimos tener alguna muestra. El estribo es una aleación de plata/cobre fabricada en fundición, y quizás con plomo, aunque la imposibilidad de tomar una muestra no nos permitió



Lámina XIII: Aspecto final de algunas monedas después de la actuación

asegurar este punto.

Evaluación del estado de conservación

Una espuela se encuentra fragmentada, y con pérdida de materia física en alguna de las uniones (Lám. XIV). La corrosión superficial es en forma de picaduras, aunque en este momento no muestran activación corrosiva; sin embargo, si se destaca una película de fuerte oxidación superficial. La pérdida casi completa de la capa de plateado se debe a la corrosión diferencial del cobre del alma subyacente (Lám. XV), a la que debe haber contribuido la fuerte concreción carbonatada y salina que tiene adherida en sus paredes. El criterio expositivo era mantener los restos de esta capa, aunque a nuestro entender resulta perjudicial para la pieza, pues ha permitido que crezcan sobre la lámina superficial focos cristales de cloruros de sodio.

De una de las espuelas se pudo llevar a cabo analítica en una pequeña muestra desprendida de la película superficial y de la concreción marina mediante MEB con EDX (Laboratorio SIDI de la UAM), que nos permitió conocer algunos aspectos de composición de su plateado original en superficie y otros debidos a su proceso de alteración. En el primer caso (Figs. 2 y 3), se atestigua que se trata de un plateado con aleación de Pb, con menores proporciones de Cu, Zn y Fe, que en algunos puntos, donde la difusión de la mezcla no ha sido buena, puede llegar a superar el Pb la proporción de Ag. En cuanto a los compuestos de la alteración (Fig. 4), en el análisis general de EDX de toda la muestra, se evidencian los propios de la costra coralina que envolvió todos los restos, integrada por una composición de base calcárea. En cuanto al espectro de las zonas propias de la corrosión del alma de bronce que, han emigrado hacia el exterior levantando la lámina de plateado, ésta muestra con claridad un compuesto carbonatado de base cobre, con algunos rastros de plata, plomo y de los detritus marinos. El desprendimiento de la lámina de plateado se ha visto potenciado por la ligera retracción que sufre la carcasa de concreciones al secarse y sin duda, por la existencia de cloruro

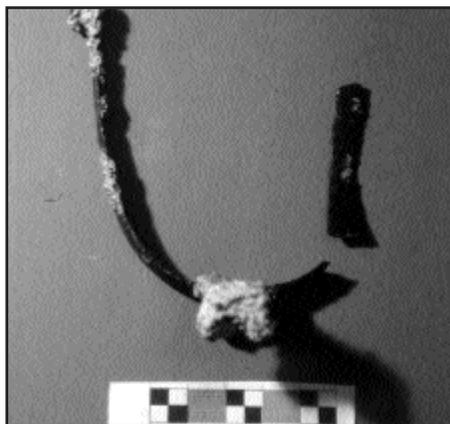


Lámina XIV: Espuela. Estado inicial con los productos de alteración y la concreción marina



Lámina XV: Detalle de la misma espuela con los restos del plateado

de sodio en esta costra marina (Lám. XVI).

Tratamiento de intervención

También aquí disponemos de datos de la primera actuación sobre una de las espuelas, que nos indican que "se procedió a la eliminación de sales; se sumergió en ácido clorhídrico al 5% seguido de un lavado con agua corriente y agua dental; fue sometida a una reducción electrolítica en la cual se usó como electrolito hidróxido de sodio al 5%; se lavó con bicarbonato de sodio y agua corriente; secado a temperatura ambiente, se aplicó limpiador de metal Noxón®; se cepilló con una mezcla de acetona/alcohol 1:1; se sumergió en benzotriazol al 5%, secado a temperatura ambiente, fue cepillado en seco con cepillo dental y finalmente protegido con Paraloid B-72® al 11%".

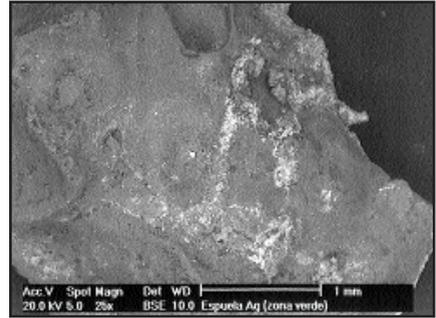


Lámina XVI. Macrofotografía con MEB de la parte interna de una de las espuelas con restos de plateado (área más clara)

Para poder iniciar nuestra intervención tuvimos que eliminar la capa de protección superficial mediante inmersión en una disolución de Acetona/Sileno durante 3 días, seguido de cepillados suaves.

Únicamente nos pareció oportuno plantearnos una limpieza manual de la superficie, sin retirar la costra marina (en función del criterio expositivo), eliminando las sales pulverulentas presentes en la superficie y en el fondo de

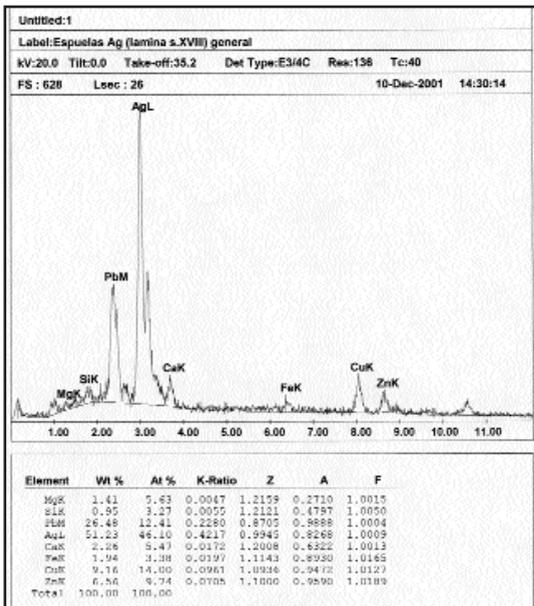


Figura 2: Gráfica de espectro EDS y composición de la muestra de la lámina de plateado

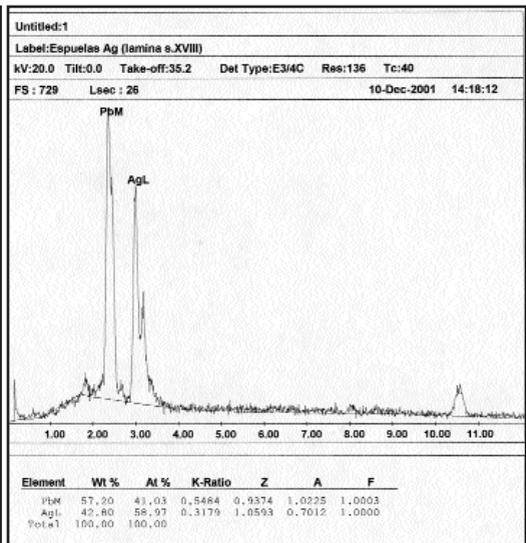


Figura 3: Gráfica de espectro EDS y composición de la muestra de la lámina de plateado con detalle de un punto

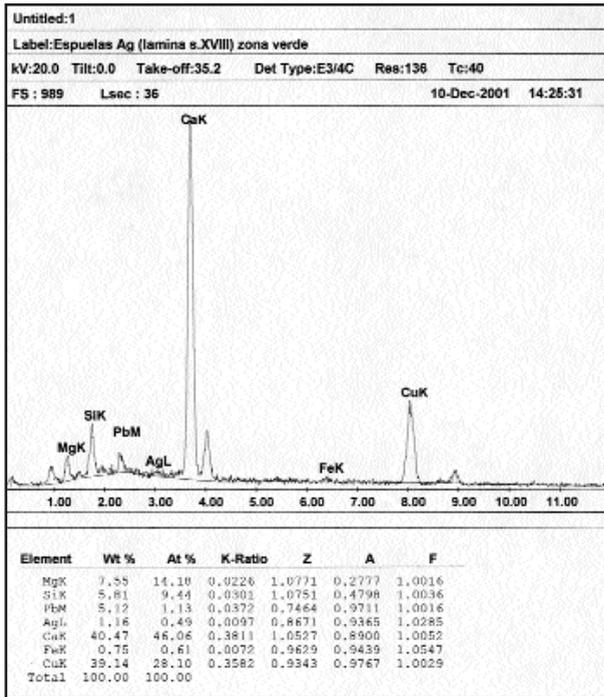


Figura 4: Gráfica de espectro EDS y composición de la muestra de la capa de alteración verdosa sobre la lámina de plateado

dido de una espuela a su posición original mediante resinas epoxídicas con carga de color.

A fin de evacuar todos los restos de humedad, se hizo el mantenimiento durante 7 días en estufa a una T de 105° C. A continuación la protección final fue en caliente y en bomba de vacío, con una combinación de copolímero acrílico (Paraloid B-72) -5%- y cera microcristalina -2%- en disolución de mezcla al 50% Sileno/Acetona, seguida de un secado progresivo con paso desde estufa a temperatura ambiente a fin de asegurar la buena inmersión de la cera en todas las fisuras y poros.

Medidas de conservación preventiva y mantenimiento

Resulta bien importante para impedir de nuevo la presencia de sulfuros y de óxidos en superficie el control de la HR en niveles que no superen el 40%, evitando especialmente los cambios bruscos de bajada y subida. Y así mismo evitar el contacto con materiales naturales o sintéticos que desprendan ácidos de baja intensidad.

las picaduras, pero sin dejar el metal puro a la vista. Se acompañó de una limpieza química con ácido Fórmico al 2% para eliminar la capa de óxidos de cobre y sulfuros de plata, combinado con cepillado suave. Desacidificación y neutralización en agua destilada durante 2 días para mitigar su acción.

A ésta siguió de nuevo una limpieza mecánica suave y un lavado final con mezcla al 50% Sileno/Acetona para eliminar la fina película de óxidos y sulfuros, pero sin dejar que emergiera demasiado el metal del núcleo. En todo momento se respetó la conservación preferente de los restos escasos del plateado superficial (Lám. XVII).

También fue necesario realizar la unión y reintegración del fragmento desprendido



Lámina XVII. Espuela después de la restauración

Los materiales inorgánicos en plata

1. Crucifijo

En realidad es el Cristo al que le falta la cruz, quizás en material orgánico que se ha perdido; no sabemos si plata pura o con alguna aleación, algo que no es extraño en la época en que se realizó, si bien la falta de los óxidos habituales complementarios al proceso de corrosión parece abogar por no tener contenidos distintos a la plata.

Evaluación del estado de conservación

A todas luces es muy deficiente. En superficie muestra una capa blanquecina y pulverulenta de cloruros de plata que ha hecho perder a la pieza el lustre y el color original de este metal (Lám. XVIII); un tipo de corrosión muy común en todos los objetos de plata que proceden de ambientes marinos. El problema desencadenado por esta denominada "horn-silver", es que acaba haciendo rígido y frágil el objeto. Es el producto de la reacción del cloruro de sodio presente en el agua del mar con la plata (NORTH y MCLEOD, 1987:91-95). La superficie presenta numerosas fisuras y microfisuras, como efecto del *stress* de este proceso corrosivo, y que se hizo más evidente después de realizar la limpieza.



Lámina XVIII: Cristo de plata; situación inicial con la capa opaca de cloruros en superficie

Intervención de tratamiento

Los restauradores dominicanos nos aportaron los datos de la intervención inicial después de su excavación. El proceso que se desarrolló fue el siguiente: "Eliminación de las sales con baños de agua destilada; eliminación de las concreciones calcáreas en ácido clorhídrico al 5%, seguido de lavado con agua corriente y cepillo dental. Electrólisis en hidróxido de sodio al 5%, seguido de lavado con agua corriente y bicarbonato de sodio, dejado en agua destilada. Secado a temperatura ambiente".

A pesar de esta intervención de limpieza química tan exhaustiva, la desaparición de los cloruros había sido parcialmente efectiva. En el momento en que se modificaron las condiciones climáticas en la Comunidad de Madrid se produjo una activación rápida de este tipo de cristalización.

En primer lugar, realizamos una limpieza mecánica con cepillado suave de las eflorescencias algodonosas existentes por toda la superficie de la

pieza, que son las que impactaban más en su deterioro. Sin embargo, la disolución de los compuestos Cl es bastante más complicada. Según la literatura científica, las mejores posibilidades de limpieza se tienen con algunos tratamientos químicos bien experimentados (MOUREY, 1987:95-96; LYKIAR-DONOPOULOU-PETROU y BELOYANNIS: 1998) cuya elección depende de la solidez de la plata. Elegimos su inmersión en una disolución de tiourea en agua destilada en presencia de un detergente no iónico:

- 500 cc de agua destilada a T ambiente.
- 44 grms. de tiourea.
- 0,5 ml de detergente no iónico.

El baño se realiza en dos sesiones sucesivas, alternadas con cepillados suaves para eliminar los depósitos superficiales. Continúa una neutralización de 3 días en agua destilada. Somos conscientes de que el tratamiento no es definitivo, pues para ello deberíamos mantener la pieza en desalación durante un tiempo muy largo, lo que impediría su presencia en la exposición. Con esta previsión seis meses después procedimos a otra solubilización y eliminación de los cloruros durante otra semana.

La presencia residual de una capa fina de sulfuro de plata se eliminó sólo parcialmente en una disolución de Ácido Fórmico al 2% en agua destilada, seguida de una prolongada neutralización desacidificante. En modo alguno, como se observa en la Lámina XIX tuvimos la intención de dejar vista la plata metálica en todo su esplendor; un criterio en que perseveramos en todo el trabajo, a pesar de la dificultad que entraña acometer estas limpiezas no completas con procedimientos químicos.



Lámina XIX. Estado final después de la intervención del Cristo de plata (Foto).

Por último, se efectuó un secado integral y prolongado de la pieza a 105° C para aplicarle con garantías una capa de protección en caliente, que permita rellenar las fisuras dejadas por la degradación de la plata y proteger la pieza en superficie. Esta protección final en caliente y en bomba de vacío, con una combinación copolímero acrílico (Paraloid B-2) -5%- y cera microcristalina -2%- en disolución de mezcla al 50% Sileno/Acetona. Al final un secado progresivo con paso desde estufa a temperatura ambiente a fin de asegurar la buena inmersión de la cera en todas las fisuras y poros dejados por el *stress* corrosivo en una pieza de tanta belleza plástica (NORTH, 1987: 328-342).

Medidas de conservación preventiva y mantenimiento

Para garantizar la estabilidad de esta pieza de plata se recomienda activar el control de la HR en niveles por debajo de 35%, evitando especialmente las alteraciones de bajada y subida para evitar las excesivas eflorescencias de sales en superficie. De especial importancia resultará el control de los com-

puestos orgánicos volátiles (COG), pues serán los primeros en activar la formación de sulfuros de Ag, que tanto afean la superficie cuando forman una capa de cierto espesor (MCNEIL y LITTLE, 1992).

La situación de fragilidad a que ha conducido la alteración corrosiva de la Ag obliga a extremar el manejo cuidadoso para evitar fragmentaciones de la pieza o la existencia de nuevas fisuras.

Cuando concluya la exposición *Huracán 1724* debería realizarse un tratamiento intensivo de dechloruración de la plata, persistiendo en el tratamiento con base tiurea.

Los materiales orgánicos en marfil

1. El Niño Jesús de Atocha

Aunque la importancia y estado de la pieza ha requerido la mayor parte del trabajo del presente Proyecto, no nos extenderemos demasiado en su explicación, pues recientemente tuvimos ocasión de dedicarle a este *Niño de marfil* un estudio monográfico (BARRIO, 2002), y por tanto a él nos remitimos para mayor detalle. Pero sí abundaremos algo más que en las piezas anteriores.

La obra fue recuperada en el pecio del galeón *Nuestra Señora de la Pura y Límpia Concepción*; la nao almirante de la flota que se hundió en julio de 1641 en el conocido como *Silver Shoals* o *Banco de la Plata*, en su época, unos arrecifes denominados Abriajos o Abrojos, por la peligrosidad que ofrecían para la navegación (BORRELL, 1996: 144-148).

El interés de este objeto es excepcional, y reside no sólo en sus cualidades estéticas, sino en que resulta muy difícil el hallazgo de objetos realizados en marfil, como es este caso. El conjunto de criterios que pusimos de relieve en las páginas iniciales fueron desarrollados especialmente en el trabajo con esta pieza, digna representante de las esculturas de la escuela hispano-filipina, que tan del gusto fueron de la nobleza y de la corte de la España del XVII (ESTELA, 1984).

La tarea de la conservación de piezas tan delicadas como este marfil, procedentes de excavaciones submarinas es un proceso de desarrollo largo y complejo, con medidas específicas desde que las piezas son extraídas y que no termina cuando se acaba su limpieza o intervención restauradora sino que debe continuar permanentemente tanto en los períodos de exposición como en los períodos de almacenamiento.

Características técnicas y de composición de la pieza

El *Niño Jesús de Atocha* está realizado en un marfil de elefante que aún mantiene, a pesar de las alteraciones superficiales, un aspecto cálido y traslúcido. Es importante tener en cuenta la composición de este material por la repercusión que tiene ello en sus posibilidades de conservación. La ratio de fracción inorgánica-orgánica del marfil de elefante en que está tallada esta pieza oscila entre 65-35 a 60-40%. El contenido orgánico es Colágeno Tipo I, mientras que el inorgánico es un mineral de carbonato conteniendo apati-

ta, similar a la hidroxiapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), con presencia de carbonato de calcio y fluoruro de calcio. La fracción orgánica se deposita en capas sucesivas conforme crece el colmillo, concediéndole una estructura laminar al compuesto (LA BAUME, 1992:233; CRISTOFERI, 1992:24-25; GODFREY *et al.*, 2002:30-31), que se distinguen bien por el ligero cambio de color. A pesar de la degradación de estas fracciones, aún presenta un aspecto tenaz y elástico, propio de las obras eborarias.

Evaluación del estado de conservación

Los datos de que disponemos de la 1ª intervención son éstos: " Eliminación de sales (varios baños en agua destilada); lavado con agua corriente y cepillo dental. Varios baños de deshidratación en alcohol. Protegido con Paraloid B-72 al 7%".

En el análisis previo al proceso de conservación llevado a cabo por nosotros se han podido determinar los siguientes problemas:

- Fracturas traumáticas post-intervención.
- Concreciones y costras calcáreas superficiales.
- Exfoliaciones superficiales de hasta 1 mm.
- Deplacados y desprendimientos laminares de hasta 4 mm.
- Fisuras y microfisuras longitudinales y transversales.
- Fisuras y separaciones anulares.
- Deformaciones estructurales.
- Manchas y tinciones externas por degradación microbiológica submarina.
- Acumulaciones de consolidantes.
- Eflorescencias de sales bajo placas y láminas descohesionadas.
- Contaminación microbacteriana activa como problemática sobrevenida.

En definitiva, un estado de conservación muy deficiente (Lám. XX); y lo más serio es que la pieza mostraba una fragmentación extrema de sus capas superficiales, provocada en los últimos tiempos por la rápida deshidratación del material, acelerada desde su traslado de Barcelona a Madrid, ciudades con climas tan distintos. Como todos los materiales higroscópicos, el efecto de una HR incorrecta, especialmente en niveles muy bajos, es el desencadenante de buena parte de problemas de deterioro que se podían observar (la tasa HR de la vitrina apenas llega al 45%). Es muy posible que también sea el cloruro de sodio, ahora cristalizado debido a la pérdida de HR y por tanto, emigrando hacia la superficie en forma de eflorescencias, el que agrave los problemas de agrietamiento que se observan en numerosas fisuras, surgidas a causa de una pérdida de dimensiones.

Como consecuencia, había que sumar una fuerte descamación en áreas muy generalizadas de la pieza, por lo que corría peligro de perder la pátina original de marfil -muchas laminillas ya se habían caído- (Lám. XXI), quedando a la luz un material amorfo que no contribuía a resaltar la calidad estética de esta magnífica obra de los talleres eborarios españoles del XVII y

XVIII.

La fractura más seria se había producido ya de antiguo en el cuello. Este desprendimiento traumático parece que había sucedido con posterioridad al rescate del mar de la pieza, pues los bordes de fractura no mostraban signos o rastros de concreciones calcáreas ni otras manchas producto de la acción microbiológica; hay que pensar que ella se tuvo que deber a los primeros cambios dimensionales relacionados con la pérdida de parte de la humedad de absorción en el proceso de tratamiento post-excavación. Al tratarse de una pieza tallada y con diferentes espesores de masa compacta en distintos puntos del cuerpo del *Niño*, es complicado hacer una medición exacta y objetiva del porcentaje de retracción, pero teniendo en cuenta que desde su extracción del mar ha pasado desde el 100% HR -etapa de inmersión y de desalación en la primera intervención de conservación- a un mínimo del 43% HR durante su tiempo de exposición en Cosmo Caixa, estos cambios dimensionales pueden haber sido de hasta un 2/4% en su medición radial, entre el 1/5% en la tangencial y entre el 0/5% en la longitudinal (LAFONTAINE y WOOD 1982: 111-113).

La diferenciación de espesor a lo largo de la talla ha marcado en mayor medida la irregularidad de estos cambios. La alteración dimensional en modo alguno ha podido ser atajada mediante el proceso de consolidación con Paraloid B-72 al 7%, pues sólo ha afectado a la capa más superficial. De todos modos, al contrario de lo que se afirma en el trabajo citado (*ibid* 113-116) no creemos que una consolidación completa y profunda, tan complicada y difícil de comprobar, pueda evitar el proceso de retracciones indicado, que hay que asumir casi como natural, y cuyo control está en las medidas microclimáticas.

Por tanto, el debilitamiento de la estructura interna del marfil es bien evidente a partir de la fractura de desprendimiento del cuello. Así, puede observarse cómo se han separado los anillos de formación y crecimiento (Lám.



Lámina XX: Niño Jesús de marfil. Estado de conservación inicial



Lámina XXI: Detalle de la fuente de laminación superficial

XXII). A partir de las primeras capas externas más sólidas, hacia el interior, el marfil se encuentra mucho más blando. Ello pone de relieve la constatación en el *Niño Jesús* de un proceso de alteración compositiva del marfil enterrado en el agua, similar al descrito en una investigación publicada en los últimos meses (GOODFREY *et alii*, 2002). Este trabajo resulta de gran utilidad para comparación con nuestro caso, porque se realizó sobre un marfil de elefante recuperado en 1972 del pecio de un mercante holandés del siglo

XVII, el *Vergulde Draeck* y por tanto, con un tiempo de inmersión muy similar al de los barcos españoles de la expedición de la nao *Concepción*; es evidente que los parámetros ambientales del medio marino australiano no son idénticos a los del Caribe dominicano, pero no tan alejados. Mediante una técnica experimental analítica muy minuciosa y contrastada (FTIR, XRD, ICP-AES, NMR y Microscopía Óptica) han evaluado el efecto que tiene el medio marino de enterramiento sobre objetos de estas características, poniendo de relieve aspectos que no se habían abordado en trabajos ya clásicos



Lámina XXII: Fisura de la cabeza del Niño Jesús

(PLENDERLEITH, 1967; WERNER, 1969; FLORIAN, 1987). Tanto los componentes orgánicos como los inorgánicos han sufrido una degradación acusada manifestada en cambios sustanciales en su composición. La desaparición de la mayor parte del colágeno tiene relación directa con la hidrólisis química y la actividad bacteriológica, mientras que la alteración de la matriz inorgánica se realiza vía disolución, sustitución iónica, recristalización o la combinación de estos procesos. Tampoco la degradación es uniforme en todo el espesor del objeto, pues se ha producido una mayor retención del colágeno en las capas externas, mientras que la fracción inorgánica se conserva mejor en el interior (FLORIAN, 1987: 39-41). Ello genera a la postre, como ha ocurrido en nuestro caso con el *Niño Jesús* una alteración diferencial y mucho más acusada que si se tratase de una pieza recuperada del medio "tierra". Esta heterogeneidad compositiva entre capas externas e internas de la pieza ha contribuido en buena medida a la situación de alteración en que se encuentra en la actualidad, pues todos los cambios higrométricos diferidos de la exposición inciden sobre estructura compositiva alterada diferencialmente. La consecuencia lógica de esta investigación para el proceso de intervención en marfiles de estas características, sería que es tan importante pensar en su consolidación interna, por dificultosa que ésta sea, como en la protección de sus capas externas.

La imposibilidad de contar con muestras radiales perdidas del *Niño de Atocha* no nos ha permitido comprobar los datos en los términos de la investigación referida, pero la similitud de condiciones y de material entre ambos hallazgos, así como la comprobación visual de los detalles experimentales apuntados en la investigación antes citada, nos hacen pensar en la validez de sus resultados para nuestro caso.

Finalmente se percibía la presencia en superficie de afloraciones de consolidante que no han penetrado (Paraloid B-72 al 7%, según informe de trabajos iniciales), quizás por un rápido secado o porque el interior estuviese aún con restos de humedad.

Tratamiento de intervención restauradora

La primera medida de tratamiento ha consistido en rehidratar la pieza, manteniéndola durante dos meses en un contenedor estanco con una HR cercana al 95%; si bien no se han notado efectos de expansión, sí se ha parado el desprendimiento de láminas superficiales. La lógica presencia de una colonia de hongos nos obligó a aplicar un desinfectante compuesto de sales cuaternarias de amonio (Steramina H) -New Des®, cuyo efecto ha sido muy positivo.

La tarea de restauración de esta pieza ha sido de extrema complejidad, debido a su fragilidad y a la debilidad del marfil, muy fisurado en su interior. No hemos considerado conveniente retirar toda la capa de consolidante con una aplicación superficial y controlada de disolvente (una disolución rápida por inmersión puede ocasionar mayores males a la pieza provocando el hinchamiento rápido del marfil y la separación de todas las láminas), sino sólo en las áreas donde existía un exceso. En ningún caso procedimos a eliminar las concreciones calcáreas de procedencia submarina; el criterio expositivo así lo indicaba. Sí, en cambio, mediante alcohol y agua destilada se han limpiado los focos de eflorescencias salinas.

También se han podido integrar de nuevo todas las láminas desprendidas en su posición original (Paraloid B72 en sileno/acetona al 20%), así como fijar, inyectando con el mismo procedimiento, las que al tacto se notaba que estaban separadas del núcleo de marfil. Ello supuso intervenir en buena parte de la superficie.

Finalmente, las fisuras de mayor tamaño, que recorrían la cara y una de las piernas, cuyo efecto estético era poco apropiado, se reintegraron, bajo un criterio de recuperación estética, con una mezcla blanda de cera de abeja y microcristalina entonada con pigmentos naturales, que no impide los movimientos naturales del marfil y a la vez contribuye de manera positiva a su legibilidad estética (Lám. XXIII). Los brazos no se integran, pues su exposición en proximidad al hombro y en posición anatómica es correcta, y no impide su adecuada apreciación estética ni su legibilidad simbólica. En otras intervenciones de esculturas de marfil ha sido prioritario practicar la correcta re inserción de los brazos para no falsear su postura (CRISTÓBAL, 1997, 12-13). El resultado, en nuestra opinión, ha sido muy positivo para la supervivencia de la pieza (Lám. XXIV).

Para una mejor comprensión, y a modo de resumen, se han recogido en una gráfica, las grandes líneas del desarrollo de nuestra actuación en el *Niño Jesús* (Fig. 5).



Lám. XXIII: Reintegración estética con relleno de la fisura de la cabeza del Niño Jesús

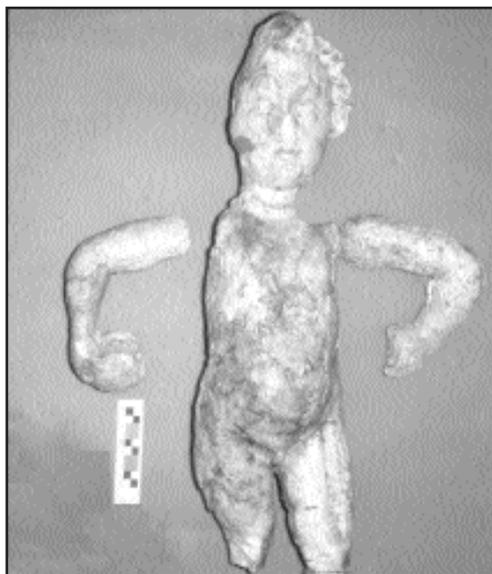


Lámina XXIV: Niño Jesús de Atocha después de la intervención

Medidas de conservación preventiva y mantenimiento

Como ya indicamos en líneas precedentes, la tarea para conservar el *Niño Jesús del Ntra. Sra. de Atocha* en buenas condiciones y con la máxima integridad física y estética no se acaba con las intervenciones restauradoras llevadas a cabo en él por nosotros, sino que se deben de adoptar otras medidas tan importantes o más que aquellas. En lo que respecta al grupo de materiales orgánicos y afines se han definido en numerosas ocasiones estos parámetros básicos (WERNER 1969; THOMSON 1978). De una manera más concreta para las piezas de marfil, E. Cristoferi ha concretado los factores más significativos que se han tener en cuenta para su conservación futura (1992: 71-78): Iluminación, microclima, presencia biológica, y manejo. Los parámetros quedarían reflejados en éstos términos:

-Luz: entre 50 y 150 lux.

-HR: 45-65%.

-Temperatura: 18 °C.

Hacer una especial incidencia en el control de la T para prevenir la presencia de plagas biológicas. En este sentido, nosotros aplicamos una nueva imprimación de New Des®, para potenciar el control microbiológico.

El ajuste concreto de estos parámetros, en el caso de nuestra pieza, nos

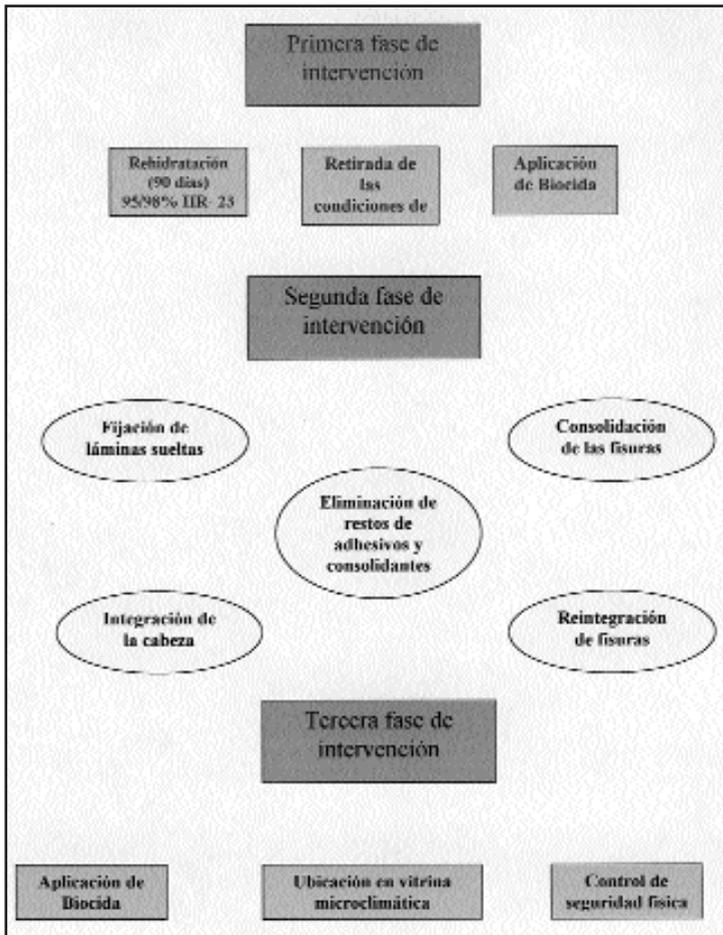


Fig. 5: Gráfica resumen de las etapas de la intervención en el *Niño Jesús de Atocha*

lleva a tener en cuenta estos hábitos de control durante su permanencia en la exposición *Huracán 1724*, y que a la postre pueden ser prorrogados en el futuro, en especial cuando la pieza llegue de nuevo a Santo Domingo (julio 2002), ya que las variables bioclimáticas son bien distintas a las de Madrid.

El procedimiento para conseguirlo ha consistido en construir una vitrina expositiva microclimática. Es una cámara estanca de metacrilato apropiada para que el *Niño* se vea con calidad, con un compartimento inferior para el gel de sílice y con un control visual higrométrico de la medición permanente en su

interior (Fig. 6). Ello hace posible comprobar periódicamente la retracción lenta de las fisuras, o al menos la inexistencia de otras nuevas, todo ello con el objetivo de intervenir en el momento propicio. Nosotros consideramos suficientes los niveles de HR entre el 65/70 %, que deberán de ser garantizados en el futuro.

La prescripción del uso de vitrinas microclimáticas es una norma de la conservación arqueológica más moderna, cuando la presencia de materiales sensibles, y los marfiles de procedencia marina lo son en alto grado y cuando se realiza en exposiciones temporales o permanentes, con un ambiente de sala no adecuado para la correcta conservación.

El uso de vitrinas microclimáticas controladas mediante gel de sílice se ha utilizado con éxito en otras piezas de marfil de extracción arqueológica, como el marfil de *Hipólito de Toledo* (AMITRANO 1990: 247). En este caso nos atenemos a las prescripciones técnicas habituales para el diseño de vitri-

nas con microclima especial, y por ello elegimos el metacrilato por su claridad óptica, resistencia a la degradación química, resistencia a los impactos, peso ligero y estabilidad direccional, a parte de su escasa permeabilidad a la humedad (GARCÍA FDEZ., 1999: 290-291).

De este modo, se mantiene el criterio de combinar exposición y conservación, sin que la segunda aminore la intensidad de la primera. Durante los nueve meses posteriores, con el *Niño* integrado en la exposición *Huracán 1724* hasta junio de 2002 se ha controlado visualmente la HR, T y las colonias microbiológicas. Se ha cambiado y rehumectado el gel de sílice cuando se notaba una bajada en la tasa de control establecida. El resultado ha sido muy positivo.

Para el futuro, promovemos por tanto, un control exhaustivo para evitar un nuevo proceso de adaptación traumático de este marfil excepcional. En caso de ser necesario, después de su traslado a la República Dominicana, habría que practicar una readaptación progresiva de los parámetros ambientales y de las medidas de protección microbiológica, con aplicación preventiva de un biocida o fungida similar al que nosotros aplicamos. Mantener en la vitrina, con medición termohigrométrica controlada, evitando una T elevada en presencia de una HR superior al 70%. Manejar los traslados con embalajes protectores; las fracturas del cuello y los deplacados de la espalda podrían romperse de nuevo.

Bibliografía referida

- AMITRANO BRUNO, R. (1987) "Restauración y Arqueología Submarina", *Iº Curso de Arqueología Subacuática*, UAM, Madrid, I-XVIII.
- AMITRANO BRUNO, R. (1990) "Tratamiento de conservación y restauración del marfil de Hipólito, del Circo Romano de Toledo", *VIII Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales*, Valencia, 20-23 septiembre 1990, 243-247.
- ARNAUD, G. *et al.* (1980) "On the problem of the preservation of human bone in sea-water", *The International Journal of nautical Archaeology* 9.1, 53-65.
- BARRIO, J. (2002) "Intervenciones de conservación en una escultura de marfil del siglo XVII de procedencia subacuática: *El Niño Jesús de Ntra. Sra. de Atocha*", en *Actas del XIV Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales*, nov. 2002, Valladolid, vol.II, 697-710.
- BARRIO, J. y MARTÍNEZ, M. (2002) "Proceso de deterioro y técnicas de conservación de los hierros de la Villa romana", en BERNAL, D. y LORENZO, L. (eds), *Excavaciones arqueológicas en la Villa romana de El Puente Grande (Los Altos del Ringo Rango, Los Barrios, Cádiz)*, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz, Cap. XII, 323-343.
- BARRIO, J. y CANTO, A. (2001) "Hallazgos de monedas califales en Haza del Carmen (Córdoba, España): Estudio de los procesos de deterioro y técnicas de conservación/ Restauración", en *Actas I Congreso Interna-*

- cional de Museología del Dinero*, Madrid 18-22, octubre 1999, Museo-Casa de la Moneda, 103-114.
- BASTIDAS *et al.* (1995) "Corrosion of bronze by acetic and formic acid vapours, sulphur dioxide and sodium chloride particles", *Materials and Corrosion* 46, 515-519.
- BETHENCOURT, M y ZAMBRANO L. C. (2001) "Conjunto monetario de Sancti Petri. Estudio evolutivo y tratamiento de los procesos de alteración", *PH Boletín* 37, Diciembre 2001, 120-126.
- BINET, CH. (1996) "Matériaux organiques", en *Étude sur La Conservation de la fouille au dépôt, Montans*, 22-26, enero.
- BORRELL, P. J. (1996) "La arqueología submarina en la República Dominicana", en Catálogo de la exposición: Huracán, 1724. *Navegantes y naufragos de la ruta del mercurio*, Fundación La Caixa y Lunwerg Editores, Barcelona, 125-162.
- CRISTÓBAL ANTÓN, L. (1997) "Recuperación de un crucifijo hispano-filipino de marfil", *Pátina* 8, 10-13.
- CRISTOFERI, E. (1992) "Gli Avori. Problemi di restauro", *Nardini Editore*, Firenze.
- DALARD, F., GOURBEYRE, Y. y DEGRIGNY, C. (2002) "Chloride removal from archeological cast iron by pulsating current", *Studies in Conservation*, 47, 117-121.
- ESTELLA, M. (1984) "La escultura barroca de marfil en España", 2 vol. CSIC. Madrid.
- FELL, V. y WARD, M. (1998) "Iron sulphides. Corrosion products on artifacts from waterlogged deposits, en Mourey/ Robbiola (Eds.)" *Proceedings of the International Conference on Metals Conservation, Metal 98, Draguignan, May. 1998, James & James* (Science Publishers), 111-115,
- FLORIAN, M. L. E. (1987) "Deterioration of organic materials other than wood", en PEARSON, C. (dir) *Conservation of Marine Archeological Objects*, Butterworths- Heinemann, Londres, 21-54.
- GARCÍA FERNÁNDEZ, I. (1999) La Conservación Preventiva y la Exposición de Obras de Arte, Ed. KR., Murcia
- GODFREY, I. M. *et alii* (2002) "The analysis of ivory from a marine environment", *Studies in Conservation*, 47, 29-45.
- GOODBURN-BROWN, D. (1997) "Surface Studies on Metals from Waterlogged Sites" *En MacLeod/ Pennec/ Robbiola (Eds) Proceedings of the International Conference on Metals Conservation, Metal 95. Sep. 1995, Semur en Auxois, James & James* (Science Publishers), 61-66.
- HAMILTON, D. (1997) "Basic Methodes of Conserving Underwater" *Archaeological Materials Culturals*, Austin, Texas.
- LAFONTAINE, R. H. y WOOD, P. A. (1982) "The stabilization of ivory against relative humidity fluctuations", *Studies in Conservation* 27, 109-117.

- LA BAUME, S. (1990) "Les matériaux organiques", en BERDUCOU, M. CL. (cod.), *La conservation en Archéologie*, Masson, Paris, 222-270.
- PEARSON, C. (1972) "The preservation of iron cannon after 200 years under the sea", *Studies in Conservation*, 17, 91-110.
- LYKIARDOPOULOU-PETROU, M. (2001) *The Museum Environments and its effect on Coins*, en *Actas I Congreso Internacional de Museología del Dinero*, Madrid 18-22 Octubre 1999, Museo Casa de La Moneda, 115-125.
- LYKIARDOPOULOU-PETROU, M. y BELOYANNIS, N. (1998) "Experimental Comparative Study of Three Different Cleaning Processes on Athenian Silver Coins (Tetradrachms) from Classical Times", en GOODBURN-BROWN, D. y JONES, J. (eds.) (1998), *Look After the Pennies. Numismatics and Conservation in the 1990s.*, Archetype Publications. London, 85-88.
- MCNEIL Y LITTLE (1992) "Corrosion mechanisms for copper and silver objects in near-surface environments", *Journal of the American Institute for Conservation*, 31, nº 3, 355-366.
- MOUREY, W. (1987) *La conservation des antiquités métalliques, du chantier de fouilles au musée*. LCRRA. Draguignan.
- NORTH, N. A. (1987) "Conservation of Metals", en Pearson, C. (Ed.), *Conservation of Marine Archeological Objects*. London, Ed. Butterworths, 207-252.
- NORTH, N. A. y MACLEOD I. D. (1987) "Corrosion of metals", en Pearson, C. (Ed.), *Conservation of Marine Archeological Objects*. London, Ed. Butterworths, pp. 68-98.
- NORTH, N. A. y PEARSON, C. (1978) "Methods for Treating Marine Iron", *ICOM-CC, 5th Triennial Meeting, Zagreb*, 23/3, 1-10.
- PEARSON, C. (1987) "Conservation of Marine Archeological Objects". Ed. Butterworths. London
- PLENDERLEITH, H. J. (1967) *La conservación de antigüedades y obras de arte*. ICCR. Madrid.
- REECE, R. (1998) "Coins and Conservation: Problems and Priorities", en Goodburn-Brown, D. y Jones, J. (Eds.) (1998), *Look After the Pennies. Numismatics and Conservation in the 1990s*. Archetype Publications. London, 37-41.
- REES-JONES, S. G. (1972) "Some aspects of conservation of iron objects recovered from the sea", *Studies in Conservation* 17, nº 1, 39-43.
- ROBINSON, W. S. (1981), *First aid for Marine Finds*, Basildon.
- SELWYN, L.S, SIROIS, P. J. y ARGYROPOULOS, V. (1999) "The corrosion of excavated archeological iron with details on weeping and akaganéite", *Studies in Conservation* 44, 217-232.
- SELWYN, L.S., MCKINNON, W.R. y ARGYROPOULOS, V. (2001) "Models for chloride ion diffusion in archeological iron", *Studies in Con-*

servation 46, 109-120.

SCHIMIDT-OTT, K. y BOISSONNAS, V. (2002) “Low-pressure hydrogen plasma: application on archaeological iron”, *Studies in Conservation*, 47, 81-87.

THOMSON, G. (1978) *The Museum Environment*, Ed. Butterworths. London.

WATKINSON, H. y NEAL, L. (1998) *First aid for Fins*, Third Edition, Rescue/ UKIC Archaeology Section, London.

WERNER, A.E. (1969) “Os et ivoire”, en *La preservation des biens culturels*, Unesco, 298-301.

WERNER, A. E. (1961) “Consolidation of Fragile Objects”, *Studies in Conservation*, 6 (4), 133-135.