

Conservación preventiva de barcos de madera extraídos de ambientes subacuáticos marinos. Estado de la cuestión

Cristina Cabello Briones*

La madera arqueológica ha sido estudiada desde diferentes puntos de vista. Sin embargo, su conservación preventiva es aún un tema novedoso. Un ejemplo clave en la conservación y preservación de pecios de madera es el Vasa. Tras la aparición de eflorescencias salinas en la superficie del barco en el 2000, el Museo del Vasa promovió una investigación sobre las causas y consecuencias de la descomposición de la madera. El estudio del incremento de acidez en barcos de procedencia marina que han sido extraídos y están expuestos en ambientes museísticos y los posibles procesos de desacidificación es actualmente una prioridad en la investigación. Mientras tanto, el control de factores de riesgo como la humedad relativa y temperatura son claves para reducir el deterioro de este tipo de colecciones. El equipo de conservadores y científicos del Museo del Vasa han sido pioneros en la implementación de un programa de conservación preventiva que presenta grandes ventajas para la futura preservación de barcos de madera.

Palabras clave: conservación preventiva, madera arqueológica, Vasa, eflorescencias salinas.

PREVENTATIVE CONSERVATION OF TIMBER BOATS EXTRACTED FROM UNDERWATER MARINE ENVIRONMENTS. THE STATE OF THE ART

Archaeological wood has been studied from various perspectives. However, its preventative conservation is still a new issue. A key example of timber shipwreck conservation and preservation is the Vasa. Following the appearance of salt efflorescence on the surface of the ship in 2000, the Vasa Museum undertook research into the causes and consequences of the decomposition of the wood. The study of the increase in acidity in boats that have been retrieved from the sea and are exhibited in museums and potential deacidifying processes are currently a research priority. Meanwhile, controlling risk factors like relative humidity and temperature are essential in reducing the decay of these collections. The Vasa Museum's team of curators and scientists have been pioneers in the implementation of a preventative conservation programme which brings significant advantages for the future preservation of timber boats.

Key words: preventative conservation, archaeological wood, Vasa, salt efflorescence.

* Titulada Superior en Conservación y Restauración de Bienes Culturales por la ESCRBC. Licenciada en Historia del Arte por la UAM. Máster en Conservación Preventiva por la Universidad de Northumbria (Reino Unido).



Anneli Karlsson, the Swedish National Maritime Museums

Introducción

La conservación de barcos de madera extraídos del mar ha sido estudiada desde diferentes perspectivas. Existe una amplia bibliografía referente a materiales, degradación y nuevos tratamientos. Varios ejemplos de temas pasados y recientes que son importantes para la conservación de bienes arqueológicos son los efectos del azufre en la degradación de la madera arqueológica de procedencia subacuática, el uso de aceites de silicona para consolidaciones y preservación de materiales arqueológicos *in situ*, etc. Sin embargo, la conservación preventiva de este tipo de estructuras es aún un tema novedoso.

El Vasa (Fig. 1) se ha convertido en una referencia desde que fue extraído del mar en 1961 y aquellas publicaciones en relación a su rescate, análisis químicos y conservación con polietilenglicoles han sido estudiadas por otros muchos investigadores. La bibliografía es amplia en temas y tiempo (ver bibliografía). Aún así, el equipo de especialistas que conforma el Museo del Vasa continúa siendo pionero en este tema. Mediante la documentación y evaluación de los tratamientos recibidos por el Vasa, incluyendo el plan de climatización del museo, es posible determinar la metodología necesaria para establecer las condiciones óptimas de preservación para futuros casos.

Conservación preventiva de la madera arqueológica

La madera se equilibra con el ambiente que la rodea. Si las condiciones cambian, la madera reacciona a al aumento o descenso de humedad en el aire y se expandirá o contraerá. Manteniendo una humedad relativa (HR) entre 50-60% se reduce la mayoría del daño visible.

Thomson, recomienda entre 19-24°C y 45-55% HR como condiciones ideales para objetos de madera sin pintar en ambientes museísticos (Thomson, 1981, 85). A niveles de HR más bajos, la madera se agrieta, se vuelve quebradiza y se contrae. Por encima del 65% HR, se promueve el crecimiento de moho y la madera se expande (Jessen *et al.*, 1987, 269).

Cuando un objeto es mecánicamente estable, la mayoría del daño es debido a fluctuaciones de HR. Éstas pueden conducir a grietas y alabeos de la madera (Harvey y Freedland, 1990, 403). Además, cambios rápidos en HR causan estreses internos debido a la diferencia de humedad entre el interior y las áreas exteriores (Appelbaum, 1991, 34). Por lo tanto, un ambiente ideal se conseguiría cuando no ocurren variaciones cíclicas (Harvey y Freedland, 1990, 405). Ligeros cambios son permitidos si éstos son lentos y varían como máximo sobre $\pm 5\%$ (Jessen *et al.*, 1987, 269).

En relación a la temperatura, con cada incremento de 10°C se dobla la velocidad media de las reacciones en materiales orgánicos (Appelbaum, 1991, 40). Por consiguiente, bajos niveles de temperatura, entre 15-20°C, ralentizan estos índices y ofrecen un ambiente más cómodo para los visitantes (Jessen *et al.*, 1987, 269).

La luz también afecta a la madera en varias formas. Los daños más severos están relacionados con la ruptura de enlaces químicos, formación de radicales libres y la subsecuente despolimerización. Asimismo, la madera que ha sido expuesta a longitudes de onda de la zona del visible y ultravioleta cambia de color significativamente (Harvey y Freedland, 1990, 407). Expertos coinciden en aceptar el rango entre 300 y 50 lux como lo apropiado. Entre 200 y 50 lux debería ser usado para exponer objetos altamente deteriorados considerando 50 lux como el nivel mínimo para percibir el color adecuadamente (Jessen *et al.*, 1987, 268).

La conservación de madera arqueológica subacuática con polietilenglicol (PEG) ha llegado a ser el método más utilizado. La técnica implica la impregnación de la madera con soluciones de esta resina sintética de modo que el agua de la célula es reemplazada por el consolidante. El proceso se centra en la estabilización de las dimensiones de la madera y el fortalecimiento de la misma.

La madera altamente degradada y tratada con soluciones de PEG cambia su dimensión regularmente de acuerdo con los cambios de humedad ambiental, aunque este índice es menor que en la madera sana (Hoffmann, 1991, 117). La madera tratada con cualquier peso molecular de PEG, a no ser que se trate continuamente, expuesta a altos valores de humedad relativa (>60%) puede expulsar el consolidante (Grattan *et al.*, 1987, 250) y la superficie se volverá pegajosa. Cuando hay fluctuaciones de humedad, el PEG, que es higroscópico, transporta iones y oxígeno dentro de la madera tratada causando problemas físicos y químicos (Sandsström *et al.*, 2003, 21).

Un nuevo reto para los conservadores: las eflorescencias salinas y el incremento de acidez

La conservación de objetos realizados con materiales orgánicos y extraídos de ambientes subacuáticos es un reto para cualquier restaurador debido a que su estructura y composición química es extremadamente compleja. Los procesos de degradación no son homogéneos y en muchas ocasiones hay diferentes grados de deterioro dentro de la misma pieza.

La velocidad del proceso de degradación depende de las condiciones del yacimiento, la naturaleza química del agua y la especie de la madera (Hoffmann y Jones, 1990, 64). Todos estos factores, incluyendo la temperatura, salinidad, concentración de oxígeno, pH, profundidad, geología y geografía, influyen en la actividad de bacterias y hongos, en el índice de abrasión mecánica del yacimiento y en el tipo de hidrólisis (McConnachie, 2005, 1).

Una vez que el barco alcanza la superficie de nuevo, éste comienza a secarse, produciéndose cambios dimensionales y distorsiones. Éstos pueden ser explicados como respuesta a otros cambios, en este caso, los micromorfológicos y químicos (Jones, 2003, 69). Las fuerzas de secado varían dentro de una misma pieza de madera. Cuanto más degradada esté la superficie, más drásticos serán los cambios con respecto al centro. Esta diferencia produce nuevas tensiones (Florian, 1990, 12).

Uno de los mayores problemas una vez que el barco se extrae del agua es el incremento de acidez. Esto tiene su raíz en las condiciones subacuáticas a las que se expone el objeto. Como resultado de la disminución de oxígeno, las bacterias sulfato-reductoras metabolizan materia orgánica reduciendo los iones sulfato a sulfuro, produciendo como desecho ácido sulfhídrico en agua marina. Las formas reducidas de azufre se acumulan en la madera cuando el agua penetra en ésta. Finalmente, cuando el oxígeno del aire entra en contacto con la madera húmeda en el proceso de rescate, estas formas reducidas son catalíticamente oxidadas a ácido sulfúrico (Sandström *et al.*, 2003). Los iones de hierro, procedentes de los pernos y la carga de los barcos, muy probablemente catalizan la oxidación de azufre a ácido sulfúrico y la degradación oxidativa de la celulosa a través de reacciones tipo Fenton, con un incremento de acidez como consecuencia (Almkvist y Persson, 2008, 694).

En el limo anaerobio de los ríos, la baja concentración de sulfatos permite una menor formación de sulfuro de hidrógeno de tal manera que pecios tales como el Bremen Cog presentan bajas concentraciones de azufre una vez extraídos (Sandström *et al.*, 2003, 56).

Este problema no parecía tener gran influencia en la preservación de barcos de madera en ambientes museísticos hasta que las sales (Fig. 2) comenzaron a aflorar en la superficie del Vasa en el otoño del 2000 después de un record en el número de visitantes en el museo y de un verano lluvioso.

El Vasa fue construido por orden del rey sueco Gustavo Adolfo en 1625 debido a la Guerra de los Treinta Años. Aunque fueron utilizadas diferentes especies de madera para su construcción, el 90% del peso del casco es de roble. El barco se hundió, completamente equipado, en su viaje inaugural a la salida del puerto de Estocolmo en 1628, y fue rescatado en 1961. Las maderas se encontraron en un notable buen estado de conservación (Fig. 3). Las principales razones fueron la ausencia de xilófagos marinos y hongos debido a la casi total ausencia de oxígeno y la alta concentración de sulfuro de hidrógeno. Sin embargo, la superficie de la madera fue atacada por microorganismos metabolizadores de azufre y degradadores de celulosa.



Cristina Cabello

Fig. 2. Detalle del Vasa sostenido por una estructura metálica como parte de la instalación en el museo donde se aprecian las eflorescencias salinas.



Karolina Kristensson, the Swedish National Maritime Museums

Fig. 3. Detalle de la popa del Vasa.

al., 2005, 266) y usando una solución al 5% de bicarbonato sódico (70%) y carbonato sódico (30%). Sin embargo, estas son medidas temporales e insuficientes porque después de pocos meses el pH vuelve a bajar a niveles perjudiciales.

Un factor que no se pudo prever fue la oxidación de aquellos tornillos nuevos que sustituyeron a los oxidados después de la extracción del barco. Por razones económicas, los nuevos pernos eran de acero con pátina de epoxy. El incremento de acidez ha disuelto la cubrición y la corrosión del hierro se ha acelerado en contacto con PEG en condiciones húmedas (Sandström *et al.*, 2003, 50).

Otro caso significativo es el Mary Rose. Éste se construyó en Portsmouth (Reino Unido) en 1509-10 por orden del rey Enrique VIII. El barco, predominantemente realizado en roble, se hundió en 1545 durante una batalla con los franceses. Aquellas partes del barco que quedaron expuestas sobre el lecho marino se erosionaron dejando menos de la mitad del casco. El Mary Rose se recuperó en 1982, y después de un proceso de investigación, donde el casco se mantuvo húmedo con espráis, se empezó su restauración en 1994.

La exposición al oxígeno atmosférico una vez extraído el barco inició multitud de reacciones químicas que actualmente amenazan la preservación a largo plazo del barco, tales como la oxidación de sulfuro a ácido sulfúrico, reacciones redox de azufre y compuestos de hierro, reacciones de radicales libres, hidrólisis ácida y degradación oxidativa de la celulosa.

Las sales más comunes que se encontraron en el Vasa fueron sulfatos de hierro pero también yeso, azufre y trazas de piritita (Sandström *et al.*, 2003). Las sales insolubles pueden causar daño mecánico al incrementar en volumen (Hocker *et al.*, 2008, 470) y las solubles pueden migrar a la superficie a través del PEG, que es higroscópico. Actualmente se estima que la media de contenido en hierro del casco es aproximadamente de 0.5%, con las mayores concentraciones en la superficie aunque con cantidades también considerables en zonas más profundas debido a que los clavos y pernos eran la fuente principal (Almkvist, 2008, 15). En cuanto a los sulfuros, la concentración varía considerablemente con la profundidad y está correlacionada con la erosión de las bacterias en la madera (Hocker *et al.*, 2008, 474). La cantidad de ácido sulfúrico acumulada en la madera se estimaba en 2 toneladas en el 2003 (Sandström *et al.*, 2003, 58).

Aunque el tratamiento de PEG con espráis eliminó probablemente un cuarto del azufre acumulado (Sandström *et al.*, 2003, 57), ha habido otros intentos de reducir la cantidad mediante el lavado del casco (Mortensen *et*



Ake E:son Lindman

Fig. 4. El Museo del Vasa.

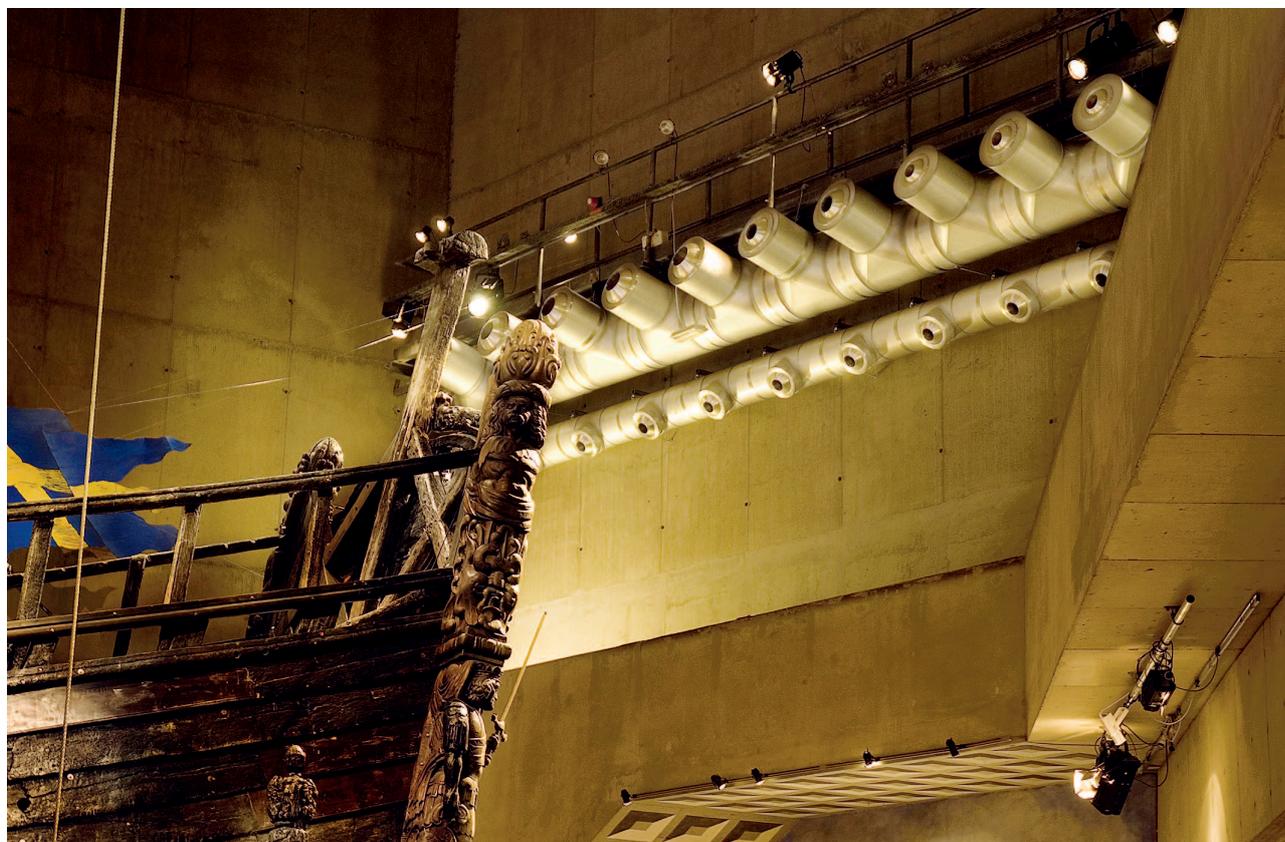
Estudios sobre maderas procedentes del barco recientemente extraídas del yacimiento han demostrado que una proporción relativamente alta de azufre y hierro cerca de la superficie está altamente oxidada (Wetherall *et al.*, 2008, 1327). Sin embargo, el Mary Rose presenta una distribución más uniforme en relación a la profundidad (Sandström *et al.*, 2005a, 1) atribuida a la rápida oxidación de los compuestos de azufre cuando las maderas fueron extraídas del sustrato marino. Además, los análisis iniciales del Mary Rose indicaban una menor cantidad de azufre que en el Vasa. Aún así, los científicos de la fundación que estudia este barco están intentando prevenir futuros problemas. Los pernos originales corroídos se sustituyeron con clavos de titanio y, debido a que el Mary Rose se encuentra todavía en fase de consolidación con PEG, se están añadiendo soluciones «buffer» de carbonato y bicarbonato de sodio para elevar el pH de la solución entre 7 y 8 (Jones, 2003, 74).

El Vasa y el Mary Rose no son los únicos pecios con este problema. Todos los barcos de procedencia subacuática marina que han sido estudiados contienen una considerable cantidad de azufre (Sandström *et al.*, 2003, 33). Los análisis en el barco Kronan en el Mar Báltico muestran un contenido de alrededor de 4% y otros pecios como el Stora Sofia a las afueras de Göteborg en Suecia y el James Matthews en Australia presentan una cantidad significativa (Fors, 2008, 35).

Actualmente, los expertos muestran su acuerdo en afirmar que el control de la humedad relativa y la temperatura es la única medida de conservación preventiva viable en ambientes museísticos.

Hacia una estrategia de futuro: conservación preventiva en el museo del Vasa

El Museo del Vasa fue diseñado como un contenedor para el barco (Fig. 4) con un espacio interior de alrededor de 105000m³ (Hocker, 2010a). El control de la temperatura y humedad relativa en tal



Karolina Kristensson, the Swedish National Maritime Museums

Fig. 5. Detalle del sistema de climatización.

volumen de aire ha sido un reto, especialmente debido al incremento de visitantes en los últimos años. Las primeras especificaciones climáticas se establecieron a 60% HR y 20°C para los meses de verano, y 57.5% HR y 17°C en invierno para evitar la condensación en las paredes del museo (Håfors, 1997). Esto era equivalente a un contenido de humedad en la madera del 10-12%. Aunque este sistema era suficiente para los meses de invierno, cuando había relativamente pocos visitantes, durante los meses cálidos y húmedos de verano, la humedad relativa ascendía a 65% (Hall Roth y Malmberg, 2005, 171). Los gradientes de temperatura y humedad causados por la altura del edificio se aceptaban como inevitables (Hocker, 2010a, 5) pero en los niveles más bajos la HR alcanzó el 70% (Hocker *et al.*, 2008, 479). El sistema de climatización funcionaba al 100% de su capacidad, impactando en el movimiento de la madera (Håfors, 1997).

Durante el verano del 2000, se registraron grandes fluctuaciones de humedad cerca de la entrada de la tienda y del restaurante, donde podría entrar sin control el aire no acondicionado, y en las galerías de visitantes cerca de la popa del barco, donde coincidían una fuerte iluminación y una gran cantidad de visitantes (Hocker, 2010a). Además, el flujo de aire era irregular en el interior del barco, donde la HR era más alta. Las eflorescencias salinas resultaron ser más frecuentes en estas áreas. Los análisis de la madera revelaron una compleja composición química con incremento de acidez y despolimerización de la hemicelulosa y PEG (Almkvist, 2008, 70). La inquietud se centraba en la pérdida de propiedades mecánicas y detalles de la superficie. Se decidió entonces reducir la HR de 60% a $55\% \pm 4\%$ con una temperatura de $18.5 \pm 1.5^\circ\text{C}$, equivalente a un contenido de humedad del 10% (Hocker, 2010a, 6).

En el 2004, fue instalado en el museo un nuevo sistema de climatización con mayor capacidad y sensibilidad (Fig. 5). Se basa en aire acondicionado bombeado a los niveles bajos, elevándose alrededor del barco y siendo succionado a través de unos conductos cercanos al techo

(Hall Roth y Malmberg, 2005, 173). Este sistema crea una cortina protectora de aire alrededor del barco más que un acondicionamiento de todo el espacio interior. Además, se instaló un contador de visitantes en la entrada del museo. Esta medida permite una preparación de la sala por medio de la deshumidificación por adelantado cuando se detectan riesgos potenciales (Hocker, 2010a). Asimismo, un nuevo sistema de iluminación incandescente se instaló en el museo produciendo 30% menos de calor radiante (Hocker, 2010b). Desde su instalación, las condiciones ambientales se han estabilizado considerablemente. Las eflorescencias salinas no han empeorado ni en cobertura ni en acidez y la diferencia del casi 10% HR sobre la altura del barco se redujo a la mitad inmediatamente (Hocker *et al.*, 2008).

Futuras líneas de investigación y recomendaciones

Se han desarrollado varios proyectos recientemente sobre los inesperados problemas causados por el hierro y azufre. Actualmente, se está llevando a cabo un proyecto de investigación a nivel internacional con la colaboración del Museo del Vasa y varias universidades e instituciones. «Un futuro para el Vasa» sucedió al proyecto «Preserva el Vasa» en el 2006 debido a la falta de respuestas específicas, y se extenderá hasta el 2011.

Algunas de las más recientes publicaciones están en relación con la desacidificación del casco con nanopartículas de carbonatos de estroncio (Giorgi *et al.*, 2008; Schofield, 2010), eliminación del hierro con agentes quelantes (Almkvist *et al.*, 2005; Sandström *et al.*, 2005b; Richards *et al.*, 2010; Felter y Crawshaw, 2010; Phillips y Godfrey, 2010) y la extracción de compuestos de azufre mediante oxidación química con persulfato de sodio (Tran *et al.*, 2010).

Debido a que la oxidación de los compuestos de azufre en objetos de madera recuperados del mar se observa sólo después de una larga exposición a la humedad y el aire, como ocurre en los museos (Wetherall *et al.*, 2008, 1328), la conservación de pecios *in situ* está llegando a ser una práctica común.

De acuerdo con Gregory y Matthiesen (2006, 326), la conservación *in situ* se puede considerar una forma de conservación preventiva. Sin embargo, la preservación absoluta es imposible. Todos los yacimientos son dinámicos y los materiales arqueológicos continuarán deteriorándose. Barcos, como el Vasa y el Mary Rose, son fuentes únicas de información para el estudio de una sociedad en un contexto específico. Pero el valor de tales objetos no sólo reside en su historia. Los pecios extraídos se encuentran entre las atracciones más populares en todo el mundo, convirtiendo los museos marítimos en negocios altamente rentables. Eso sí, la gran popularidad incrementa la presión para permitir mayor número de visitantes, haciendo más difícil el mantenimiento de un programa de preservación apropiado.

Como la preservación se tiene que compatibilizar con las actividades normales de un museo, la conservación preventiva es clave para su mantenimiento a largo plazo.

Para aquellos objetos arqueológicos realizados en madera de procedencia marina y tratados con PEG, es imprescindible un ambiente museístico con pequeñas variaciones de temperatura y una humedad relativa baja y estable (en torno a 55% o menor). Cerramientos o protecciones con barnices pueden ser considerados a la hora de reducir el acceso de oxígeno y así frenar las reacciones de degradación (Sandström *et al.*, 2005b, 14169). Sin embargo, es el control de la humedad y la reducción de las fluctuaciones lo que permite frenar la migración de agua, oxígeno y sales, que iniciarán diferentes reacciones químicas (Fors, 2008, 94). Además, reduciendo los cambios en el contenido de humedad, serán minimizados los movimientos dimensionales.

Agradecimientos

Me gustaría dar las gracias al Museo del Vasa, especialmente a Emma Hocker, conservadora del museo, por compartir conmigo sus experiencias y conocimiento.

Bibliografía

- ALMKVIST, G. y PERSSON, I. (2005): «The movement and stability of polyethylene glycol (PEG) in the Vasa wood», en Hoffmann, P. *et al.* (eds.): *Proceedings of the 9th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*, Copenhagen 2004, Bremerhaven: ICOM, pp. 269-278.
- ALMKVIST, G. (2008): *The Chemistry of the Vasa- Iron, Acids and Degradation*, Tesis Doctoral, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- ALMKVIST, G. y PERSSON, I. (2008): «Analysis of acids and degradation products related to iron and sulphur in the Swedish warship Vasa», *Holz-forschung*, vol. 62 (6), pp. 694-703.
- APPELBAUM, B. (1991): *Guide to Environmental Protection of Collections*, Boston: Sound View Press.
- FELTER, M. y CRAWSHAW, A. (2010): «Possible use of the Calcium complex of EDTA to remove Iron», the 11th ICOM-CC Conference on Wet Organic Archaeological Materials, Greenville, 24-29 Mayo 2010. (En prensa: *Proceedings of the 11th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*).
- FLORIAN, M-L. E. (1990): «Scope and History of Archaeological Wood» in Rowell, R.M.; y Barbour, R.J. (eds.): *Archaeological Wood. Properties, Chemistry, and Preservation*, Advances in Chemistry, series 225, Washington: American Chemical Society, pp.3-32.
- FORS, Y. (2008): *Sulfur-Related Conservation Concerns for Marine Archaeological Wood. The Origin, Specification and Distribution of Accumulated sulfur with some Remedies for the Vasa*, Tesis Doctoral, Department of Physical, Inorganic and Structural Chemistry, Stockholm University.
- GIORGI, R., CHELAZZI, D. y BAGLIONI, P. (2008): «Nanoscience contribution to preservation of acidic shipwrecks», en *Proceedings of the 10th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*, Amsterdam 2007, Bremerhaven: ICOM, pp. 525-534.
- GRATTAN, D.W. y CLARKE, R.W. (1987): «Conservation of Waterlogged Wood», in Pearson, C. (ed.): *Conservation of Marine Archaeological Objects*, London: Butterworths, pp. 164-206.
- GREGORY, D. y MATTHIESEN, H. (2006): «In-situ Preservation of Waterlogged Archaeological Sites» in May, E., y Jones, M. (eds.): *Conservation Science. Heritage Materials*, Dorset: The Royal Society of Chemistry, pp. 309-329.
- HÅFORS, B. (1997): *The climate of the Vasa Museum –problems in coordinating the museum object and the museum climate*, Vasamuseet [Online]. Disponible en: <http://www.maritime.org/conf/conf-hafors.htm> (Consultado en Julio 2010).
- HALL ROTH, I. y MALMBERG, L. (2005): «Save the Vasa- An Introduction», en Hoffmann, P. *et al.* (eds.): *Proceedings of the 9th ICOM Group on Wet Archaeological Materials Conference*, Copenhagen 2004, Bremerhaven: ICOM, pp. 171-177.
- HARVEY, R. y FREEDLAND, C. (1990): «Exhibition and Storage of Archaeological wood», en Rowell, R.M.; y Barbour, R.J. (eds.): *Archaeological Wood. Properties, Chemistry, and Preservation*, Advances in Chemistry, series 225, Washington: American Chemical Society, pp. 399-420.
- HOCKER, E.; DAL, L. y HOCKER, F. (2008): «Understanding Vasa's Salt Problem: Documenting the Distribution of Salt Precipitations on the Swedish Warship Vasa», en *Proceedings of the 10th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*, Amsterdam 2007, Bremerhaven: ICOM, pp. 469-81.
- HOCKER, E. (2010a): «Maintaining a Stable Environment: Vasa's New Climate- Control System», *Journal of Preservation Technology*, vol. 41: 2-3, pp. 3-9, *APT Bulletin* [Online]. Disponible en: <http://vasamuseet.se/Documents/Forsking%20och%20bevarande/Emma%20Hocker%20climate%20article.pdf> (Consultado en Diciembre 2010).
- HOCKER, E. (2010b) E-mail con la autora, 28 Julio 2010.
- HOFFMANN, P. y JONES, M. A. (1990): «Structure and Degradation Process for Waterlogged Archaeological Wood», en Rowell, R.M., y Barbour, R.J. (eds.): *Archaeological Wood. Properties, Chemistry, and Preservation*, Advances in Chemistry, series 225, Washington: American Chemical Society, pp. 35-67.
- HOFFMANN, P. (1991): «Experimental study on the dimensional change of highly degraded waterlogged wood according to ambient humidity after preservation treatment», en Hoffmann, P. (ed.): *Proceedings of the 4th ICOM Group on Wet Archaeological Materials Conference*, Bremerhaven 1990, Bremerhaven: ICOM, pp. 107-118.

- JESSEN, V. y PEARSON, C. (1987): «Environmental conditions for storage and display of marine finds», en Pearson, C. (ed.): *Conservation of Marine Archaeological Objects*, London: Butterworths, pp. 268-270.
- JONES, M. (ed.) (2003): *For Future Generations. Conservation of a Tudor Maritime Collection*, The Archaeology of the Mary Rose, vol. 5, Portsmouth: The Mary Rose Trust.
- MCCONNACHIE, G. (2005): *Air Drying Behaviour of Waterlogged Archaeological Woods from the Tudor Warship Mary Rose*, Tesis Doctoral, University of Portsmouth.
- MORTENSEN, M.N., EGSGAARD, H., SHASHOUA, Y. y GLASTRUP, J. (2005): «PEG in the warship Vasa, and the Viking ship Skuldelev 2», en Hoffmann, P. et al (eds.): *Proceedings of the 9th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*, Copenhagen 2004, Bremerhaven: ICOM, pp. 261-68.
- PHILLIPS, E. y GODFREY, I.N. (2010): «Removing iron compounds from a waterlogged wooden gun-carriage using the chelating agent DTPA», the 11th ICOM-CC Conference on Wet Organic Archaeological Materials, Greenville, 24-29 Mayo 2010. (En prensa: *Proceedings of the 11th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*).
- RICHARDS, V., GODFREY, I. y KASI, K. (2010): «Iron Removal from Waterlogged Wood and the Effects on Wood Chemistry», the 11th ICOM-CC Conference on Wet Organic Archaeological Materials, Greenville, 24-29 Mayo 2010. (En prensa: *Proceedings of the 11th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*).
- SANDSTRÖM, M., FORS, Y. y PERSSON, I. (2003): *The Vasa s New Battle. Sulphur, Acid and Iron*, Vasa Studies, vol. 19, Stockholm: The Swedish National Maritime Museums.
- SANDSTRÖM, M., JALILEHVAND, F., DAMIAN, E., FORS, Y., GELIUS, U., JONES, M. y SALOMÉ, M. (2005a): «Sulfur in the Timbers of Henry VIII's Warship Mary Rose: Synchrotrons Illuminate Conservation Concerns», *SSRL Science Highlights* [Online]. Disponible en: ssrl.slac.stanford.edu/research/highlights_archive/maryrose.pdf (Consultado en Mayo 2010).
- SANDSTRÖM, M., JALILEHVAND, F., DAMIAN, E., FORS, Y., GELIUS, U., JONES, M. y SALOMÉ, M. (2005b): «Sulfur accumulation in the timbers of King Henry VIII's warship Mary Rose: A pathway in the sulfur cycle of conservation concern», *PNAS*, vol. 102 (40), pp. 14165-14170.
- SCHOFIELD, E. (2010): «The de-acidification of waterlogged archaeological Mary Rose timbers with strontium carbonate nanoparticles», the 11th ICOM-CC Conference on Wet Organic Archaeological Materials, Greenville, 24-29 Mayo 2010. (En prensa: *Proceedings of the 11th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*).
- THOMSON, G. (1981): *The Museum Environment*, London: Butterworths.
- TRAN, K., BAUCHAUD, F. y WERNER, C. (2010): «Extraction of sulfur compounds from archaeological wood by chemical oxidation with sodium persulfate», the 11th ICOM-CC Conference on Wet Organic Archaeological Materials, Greenville, 24-29 Mayo 2010. (En prensa: *Proceedings of the 11th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*).
- WETHERALL, K. M., et al. (2008): «Sulfur and iron speciation in recently recovered timbers of the Mary Rose revealed via X-ray absorption spectroscopy», *Journal of Archaeological Science*, 35, pp. 1317-1328.