

05

sumario

artículos

- 001 LIBS en patrimonio cultural: reconocimiento e identificación de objetos en yacimientos arqueológicos sumergidos**
Francisco Javier Fortes, Marina López-Claros, Salvador Guirado, Javier Laserna
<<http://www.iaph.es/phinvestigacion/index.php/phinvestigacion/article/view/117>>
- 025 La autenticidad en la práctica. Ejemplos desde ocho sitios con arte rupestre clasificados como patrimonio mundial**
Anders Gustafsson, Håkan Karlsson
<<http://www.iaph.es/phinvestigacion/index.php/phinvestigacion/article/view/100>>
- 045 El proceso creativo y la estructuración estratigráfica como señas de identidad y autenticidad. La pequeña *Madonna di Foligno* de Rafael, como caso de estudio**
Luis Rodrigo Rodríguez Simón
<<http://www.iaph.es/phinvestigacion/index.php/phinvestigacion/article/view/112>>
- 069 Aproximación a la identificación de agentes fúngicos en control de biodeterioro**
Yerko Andrés Quitral Quitral, Richard Francisco Solís Solís
<<http://www.iaph.es/phinvestigacion/index.php/phinvestigacion/article/view/90>>
- 083 La primera sede de la Universidad de Sevilla y el traslado de su portada**
Javier Tejido Jiménez
<<http://www.iaph.es/phinvestigacion/index.php/phinvestigacion/article/view/109>>
- 103 Innovación y gestión de la conservación preventiva en museos: un ejemplo con colecciones de vidrio y materiales cerámicos**
Manuel García Heras, M.^a Ángeles Villegas Broncano
<<http://www.iaph.es/phinvestigacion/index.php/phinvestigacion/article/view/89>>

PH investigación (ISSN: 2340-9479) es una publicación en línea semestral (junio y diciembre), con la intención de dar respuesta a la comunidad científica hispanohablante, fundamentalmente, que investiga en torno al patrimonio cultural.

Sus contenidos están disponibles, de manera gratuita y sin restricciones, en el sitio web www.iaph.es/phinvestigacion

Este fichero constituye una recopilación de todos los artículos del número, que pretende facilitar la descarga e impresión personal, pero no constituye, en ningún caso, una versión impresa de la publicación periódica digital.

PH investigación se edita bajo una licencia creative commons 3.0 BY-NC-ND, por lo que usted es libre de difundir su contenido siempre que cite claramente la fuente original, no utilice la obra para fines comerciales y no altere o transforme la obra.

LIBS en patrimonio cultural: reconocimiento e identificación de objetos en yacimientos arqueológicos sumergidos

Francisco Javier Fortes 01| Marina López-Claros 01| Salvador Guirado 01| Javier Laserna 01|

En este trabajo se discutirán las capacidades de la técnica LIBS para el reconocimiento e identificación in situ de materiales sumergidos en yacimientos arqueológicos reales. Para este propósito, se ha diseñado un instrumento remoto basado en fibra óptica que permite el reconocimiento e identificación de objetos en este tipo de escenarios. El prototipo desarrollado por la Universidad de Málaga es capaz de trabajar en dos configuraciones, pulso-simple convencional (SP-LIBS) y excitación multi-pulso (MP-LIBS). El uso de una configuración de multi-pulso permitió aumentar la cantidad de radiación láser (hasta 95 mJ) que puede ser transmitida a través de un cable de fibra óptica. Como consecuencia, se produce una mejora de las prestaciones del equipo, sobre todo en términos de rango de análisis (hasta una profundidad de 50 metros) y variedad de muestras que pueden ser analizadas (por ejemplo, rocas, cerámica, mármol y hormigón). Previamente, se han realizado estudios de parametrización en laboratorio (presión del gas, condiciones focales, ángulo de incidencia...) para alcanzar las mejores condiciones durante las medidas de campo. La dependencia de la señal LIBS con la profundidad de muestreo se estudió en un escenario real. Por otro lado, se caracterizaron e identificaron los objetos arqueológicos encontrados en el pecio del *Bucentaure* (Cádiz) y el pecio de San Pedro de Alcántara (Málaga). Los resultados obtenidos durante estas campañas de medida confirmaron la adaptabilidad de la técnica al ambiente marino y su potencial para analizar objetos arqueológicos en un yacimiento subacuático.

Palabras clave

Análisis subacuático | Arqueología | Espectroscopía de plasmas inducidos por láser | Intervención en el PH | LIBS | Patrimonio arqueológico subacuático | Patrimonio cultural | Patrimonio histórico |

LIBS in cultural heritage: recognition and identification of objects in an underwater archaeological shipwreck

Francisco Javier Fortes 01| Marina López-Claros 01| Salvador Guirado 01| Javier Laserna 01|

In this work, the capabilities of LIBS technique for the in-situ recognition and identification of materials in real submerged archaeological sites are discussed. A fiber-optics-based remote instrument was designed for the recognition and identification of archeological assets in underwater archaeological shipwrecks. The LIBS prototype featured both single-pulse (SP-LIBS) and multi-pulse excitation (MP-LIBS). The use of multi-pulse excitation allowed an increased laser beam energy (up to 95 mJ) transmitted through the optical fiber. This excitation mode results in an improved performance of the equipment in terms of extended range of analysis (to a depth of 50 m) and a broader variety of samples to be analyzed (i.e., rocks, marble, ceramics and concrete). Parametric studies in the laboratory such as gas flow pressure, beam focal conditions and angle of incidence, among others, were performed to optimize the best conditions for field analysis. The dependence of LIBS signal with the analysis depth was also studied in a real environment (Bahía de Málaga). Ancient artifacts found in the wreck of *Bucentaure* (Cádiz, Spain) and the wreck of San Pedro de Alcántara (Málaga, Spain) have been characterized and identified. Results obtained in these field trials confirmed the capability of remote LIBS for in-situ analysis of underwater archeological samples.

Keywords

Underwater analysis | Archaeology | Laser-induced breakdown spectroscopy | Intervention | LIBS | Underwater archeological heritage | Cultural heritage | Historical heritage |

URL de la contribución <<http://www.iaph.es/phinvestigacion/index.php/phinvestigacion/article/view/117>>

01| Departamento de Química Analítica, Universidad de Málaga

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la caracterización del patrimonio cultural sumergido se ha convertido en una de las áreas de mayor interés en arqueología (BOWEN, 2009). El motivo principal es la cantidad de información histórica que contienen los restos arqueológicos que permanecen hundidos, no sólo en las profundidades de mares y océanos donde se encuentra la mayoría de estos yacimientos, sino también en otras localizaciones como ríos, lagos o pantanos (BONIFACIO, 2008; LEÓN AMORES, 2009). En concreto, el mar Mediterráneo contiene gran cantidad de restos arqueológicos como consecuencia de las tormentas, accidentes y batallas navales de las que ha sido testigo desde la antigüedad. En particular, la costa andaluza puede considerarse como un enclave privilegiado donde encontrar multitud de yacimientos de interés arqueológico. Debido a su ubicación geográfica, el Mediterráneo se ha utilizado a lo largo de la historia como zona de paso de infinidad de rutas comerciales y militares. De ahí el gran interés que despierta la arqueología subacuática.

Cada yacimiento arqueológico es una valiosa fuente de información histórica. Es necesario señalar que la realidad de un yacimiento subacuático suele alejarse bastante de la imagen idílica que, en primera instancia, puede tenerse de un barco hundido. Lo habitual es que ni siquiera se pueda distinguir entre los restos del yacimiento y el propio entorno, pues estos acaban por integrarse en el paisaje debido a la acción del tiempo y a la deposición continua de sedimentos. El descubrimiento de piezas como por ejemplo ánforas y cañones, en su contexto arqueológico, podría dar indicios de la edad y la nacionalidad del pecio. Es imprescindible estudiar, proteger y conservar los bienes sumergidos debido a las continuas agresiones a las que se ven sometidos. Las técnicas analíticas clásicas suelen requerir el traslado de la pieza hasta el laboratorio para estudiar su composición. Sin embargo, esto no siempre es posible. Unas veces no se puede extraer el objeto de su yacimiento por cuestiones logísticas, por ejemplo debido a su tamaño. En otras ocasiones, la causa puede tener su origen en la legislación, o bien estar contraindicada para la integridad del objeto. Los materiales presentes en el propio yacimiento se encuentran en equilibrio químico con su entorno, lo que evita su deterioro. Tras su extracción, las piezas fuera del agua comienzan a oxidarse debido al oxígeno del aire y a los electrolitos que puede llevar ocluidos en su interior. Impedir este proceso es complejo, caro y puede llevar varios meses. Por ello, el análisis in situ de los objetos suele ser la única alternativa en muchos casos. Además, y no menos importante, es necesario tener en cuenta que la propia disposición del objeto en el contexto del yacimiento puede proporcionarnos información sobre el mismo. Información que se perderá si es extraído de su entorno. Por ello, la Organización de las Naciones

Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), en la Convención para la protección del patrimonio cultural sumergido, considera la conservación in situ del patrimonio cultural como “la opción prioritaria antes de autorizar o emprender actividades dirigidas a ese patrimonio” (CONVENTION, 2001).

A pesar de esta demanda, no existen muchas técnicas analíticas disponibles para llevar a cabo el análisis químico in situ de objetos arqueológicos sumergidos. En realidad, sólo aquellas basadas en la tecnología láser son capaces de afrontar este reto. Una de estas técnicas ha sido la espectroscopía Raman, que ha sido empleada para determinar la composición química de los minerales presentes en el lecho marino (WHITE; DUNK; PELTZER et ál., 2006). La fluorescencia inducida por láser (LIF) también se ha empleado en el desarrollo de instrumentación portátil para la realización de medidas subacuáticas (FANTONI; BARBINI; COLAO et ál., 2006). Sin embargo, aunque las tecnologías Raman y LIF pueden aplicarse en este campo, no proporcionan información atómica.

Hoy en día la espectroscopía de plasmas inducidos por láser (LIBS) proporciona una nueva solución a este problema (FORTES; LASERNA, 2010; FORTES; MOROS; LUCENA et ál., 2013). El desarrollo de la tecnología ha contribuido a que esta técnica se haya convertido en una herramienta de creciente aplicación en los últimos años para el estudio y conservación del patrimonio histórico (FORTES; CORTÉS; SIMÓN et ál., 2005; GIAKOUMAKI; MELESSANAKI; ANGLOS, 2007; FORTES; CUÑAT; CABALÍN et ál., 2007). La técnica LIBS combina prácticamente todos los requisitos deseables para este tipo de aplicaciones, incluyendo información atómica multi-elemental, rango ilimitado de materiales susceptibles de ser analizados y resultados en tiempo real sin necesidad de preparar la muestra previamente. Por otro lado, tanto los fundamentos básicos de las medidas LIBS bajo agua como los principios de medida, la instrumentación y las metodologías más adecuadas se han descrito en la literatura (LAZIC; LASERNA; JOVICEVIC, 2013a; LAZIC; LASERNA; JOVICEVIC, 2013b). El análisis de líquidos por LIBS fue evaluado por primera vez en 1984 (CREMERS; RADZIEMSKI; LOREE, 1984). Los procesos derivados de la interacción láser-líquido originan la emisión de un plasma muy débil que, aun siendo útil para propósitos analíticos, presenta dificultades asociadas a la inestabilidad de la emisión (CHARFI; HARITH, 2002). La capacidad analítica de la técnica para el análisis de materiales sumergidos mejora sustancialmente con sistemas LIBS de doble pulso (DE GIACOMO; DELL'AGLIO; COLAO et ál., 2004; DE GIACOMO; DELL'AGLIO; DE PASCALE et ál., 2007). Con esta metodología, la eficiencia de emisión mejora sustancialmente y la señal se estabiliza hasta alcanzar una precisión del orden del 10-15%. Esta configuración se ha aplicado para el análisis semi-cuan-

titativo de muestras sólidas y sedimentos marinos. Recientemente, se ha demostrado la capacidad de LIBS para el análisis subacuático de aleaciones metálicas (hierro, bronce y aleaciones preciosas) y muestras no metálicas (roca y madera) (LAZIC; COLAO; FANTONI et ál., 2005). Así, el análisis de materiales metálicos es de vital importancia puesto que permite identificar los constituyentes metálicos principales de aleaciones de hierro, cobre, oro y plata y detectar elementos traza y minoritarios de interés para el esclarecimiento de la procedencia de las muestras y para la determinación del proceso de fabricación.

Sin embargo, todos los estudios descritos hasta la fecha en materiales bajo agua han sido efectuados en laboratorio. En este trabajo de investigación se pretende describir las actividades realizadas en el marco del Proyecto AQUALAS, que nace de la necesidad de resolver un problema bien definido: caracterizar químicamente los materiales presentes en un yacimiento arqueológico subacuático sin extraerlos de su ubicación original. Se plantean los siguientes objetivos:

- > Ampliar el rango de aplicación de la técnica LIBS para la inspección, identificación y diagnóstico de bienes localizados en yacimientos arqueológicos subacuáticos.
- > Desarrollar un sistema portátil de análisis de materiales sumergidos adaptado al ambiente marino.
- > Estudiar las condiciones necesarias para la identificación y conservación del patrimonio cultural sumergido.

En 2012, el laboratorio láser de la Universidad de Málaga publicó el primer análisis LIBS subacuático de muestras sólidas (GUIRADO; FORTES; LAZIC et ál., 2012). El sistema consistió de una unidad principal (donde se produce el acoplamiento láser-fibra) y una sonda sumergible, conectadas mediante un umbilical de 40 metros de longitud. El prototipo fue controlado desde la cubierta de un barco mientras un buzo profesional manipulaba la sonda LIBS sumergible. El ensayo se realizó en el mar Mediterráneo, a una profundidad máxima de 30 metros. El sistema introduce un flujo de gas coaxial que desaloja el agua de la superficie de la muestra y genera una interfase sólido-gas que facilita el análisis LIBS bajo agua. A pesar de que los resultados fueron muy satisfactorios, los análisis estaban restringidos prácticamente a muestras metálicas. Posteriormente, los mismos autores plantearon la posibilidad de utilizar una configuración de multi-pulso, es decir una secuencia de sucesivos pulsos láser (GUIRADO; FORTES; CABALÍN et ál., 2014). Con esta configuración, las prestaciones del equipo se vieron mejoradas en términos de a) energía láser transmitida a través de la fibra óptica, b) rango de análisis y c) variedad de

muestras que pueden ser analizadas (por ejemplo, mármol, cerámica, hormigón...). Estas mejoras introducidas en el prototipo han posibilitado la intervención en yacimientos arqueológicos subacuáticos como el pecio del *Bucentaure* (GUIRADO; FORTES; LASERNA, 2015) y el pecio de San Pedro de Alcántara (julio, 2015). A lo largo de este artículo se discutirán las capacidades de la técnica para el reconocimiento e identificación in situ de materiales sumergidos en yacimientos arqueológicos reales.

MATERIALES Y MÉTODO

Instrumentación

En esta sección se presenta un novedoso instrumento que ha sido especialmente diseñado para el análisis químico remoto de materiales sumergidos. Este sistema puede ser configurado tanto en pulso simple convencional (SP-LIBS) como en multi-pulso (MP-LIBS). La configuración MP-LIBS permite introducir una mayor radiación láser a través de la fibra óptica. Así, la máxima energía de entrada a la fibra fue 95 mJ/pulso que junto con una transmisión del 74% permitió alcanzar una energía de salida de 70 mJ/pulso. Esto mejoró el rendimiento del instrumento en términos de energía transmitida a través de la fibra, rango de análisis (hasta 50 m de profundidad) y variedad de muestras susceptibles de ser analizadas (mármoles, cerámica, hormigón, rocas...).

El prototipo consta de dos partes muy bien definidas: una sonda de muestreo y un módulo principal, interconectadas por medio de un umbilical de 50 metros de longitud. En la imagen 1 se muestra una visión general del equipo. La unidad principal contiene el módulo óptico, donde se realiza el acoplamiento láser-fibra, el módulo de adquisición de datos y la fuente de alimentación del láser. El peso total del equipo ronda los 150 kg y tiene unas dimensiones de 81x86x126 cm.

El módulo óptico consiste en una estructura de metacrilato especialmente adaptada para prevenir la deposición de aerosoles marinos sobre los componentes ópticos del sistema. Este módulo también contiene la fuente de excitación láser así como todos los componentes ópticos para realizar tanto el acoplamiento láser-fibra como la detección del plasma procedente de la superficie de la muestra. El haz láser es transmitido a través de 55 metros de fibra óptica protegidos en el interior de un umbilical que conecta la sonda de análisis con el módulo óptico. En el extremo final de la fibra óptica, el haz láser es enfocado sobre la superficie del material mediante un sistema óptico incorporado en el interior de la sonda LIBS de análisis. El umbilical también suministra un flujo constante de gas al interior de la sonda, eliminando



Imagen 01 | Vista general del equipo AQUALAS. Foto: todas las imágenes que ilustran el artículo, si no se indica lo contrario, son de UMA LASERLAB

el agua de la superficie del material y creando una interfase gas-sólido que facilita el análisis LIBS bajo agua.

Una vez generado el plasma sobre la superficie del material, la luz se transmite a través de la misma fibra óptica para regresar al módulo óptico, donde es guiada hacia el módulo de adquisición de datos a través de un sistema óptico de colección. El módulo de adquisición de datos, instalado en la unidad principal, consta de un espectrómetro, un convertidor de video y un ordenador. Un generador de retrasos y pulsos controla externamente el sistema. Por su parte, el espectrómetro Czerny-Turner tiene una red de difracción de 1200 líneas/mm. Con esta configuración se obtiene una resolución espectral de 0.1-0.2 nm/pixel en el rango espectral de 300-550 nm. Las condiciones temporales de adquisición se optimizaron para obtener la mejor relación señal-ruido en la señal LIBS.

El equipo también dispone de un módulo auxiliar para su total autonomía en los trabajos de campo. Este módulo contiene un compresor de aire, un estabilizador de corriente y un generador externo de corriente que dota al equipo de siete horas de autonomía de trabajo.

Materiales

Con el objetivo de evaluar las capacidades de la técnica y poner a punto el equipo LIBS remoto se analizaron una serie de muestras en el laboratorio. Este conjunto de piezas incluía tanto material cerámico como aleaciones metálicas, y presentaban, en su mayoría, un alto grado de corrosión y rugosidad superficial. Estas muestras se resumen en la tabla 1. Para que las medidas de laboratorio se asemejasen lo máximo posible a las condiciones que se tendrían durante un análisis en un ambiente marino real, los experimentos se realizaron en el interior de un tanque de 100 litros con agua tomada directamente del mar Mediterráneo.

En una segunda etapa, para demostrar el potencial de la técnica, se diseñaron campañas de medida en escenarios reales de interés en la investigación del patrimonio arqueológico subacuático andaluz. Así, se analizaron los restos del *Bucentaure* (Cádiz) y del pecio de San Pedro de Alcántara (Málaga) a 17 y 10 metros de profundidad, respectivamente.

En la tabla 2 se describen las muestras analizadas durante las campañas de medida llevadas a cabo en estos dos yacimientos arqueológicos. Durante la prospección arqueológica del pecio de San Pedro de Alcántara también se analizó la composición química de muestras de forros procedentes de diferentes pecios. Una descripción de estas muestras se resume en la tabla 3.

Muestra	Material	Descripción de la muestra
#1	Cerámico	Cerámica arqueológica con concreción calcárea
#2	Cerámico	Cerámica arqueológica con concreción de tipo ferrosa
#3	Hierro	Pieza arqueológica de hierro
#4	Bronce	Lámina de bronce
#5	Bronce	Bronce arqueológico
#6	Bronce	Bronce plomado
#7	Bronce	Muestra certificada de bronce (79% Cu, 8% Pb, 7% Sn, 6% Zn)

Muestra	Pecio	Material	Descripción de la muestra
#8	<i>Bucentaure</i>	Hierro	Pieza de hierro con concreción calcárea
#9	<i>Bucentaure</i>	Hierro	Caja metálica para guardar objetos de joyería
#10	<i>Bucentaure</i>	Hierro	Cañón de hierro con alto grado de concreción
#11	<i>Bucentaure</i>	Cobre	Objeto de cobre con concreción calcárea
#12	<i>Bucentaure</i>	Plomo	Pieza de plomo
#13	San Pedro Alcántara	Cerámico	Cerámica decorada
#14	San Pedro Alcántara	Cerámico	Fragmento de cerámica de forma indeterminada
#15	San Pedro Alcántara	Cerámico	Fragmento de un posible botijo
#16	San Pedro Alcántara	Hierro	Bala de cañón
#17	San Pedro Alcántara	Hierro	Cañón de hierro
#18	San Pedro Alcántara	Hierro	Cañón de hierro
#19	San Pedro Alcántara	Hierro	Pieza de hierro de forma indeterminada
#20	San Pedro Alcántara	Bronce	Fragmento de una hebilla
#21	San Pedro Alcántara	Cobre	Botón de cobre
#22	San Pedro Alcántara	Cobre	Fragmento de cobre de forma indeterminada

Muestra	Pecio	Procedencia	Descripción de la muestra
#23	<i>Bucentaure</i>	Francia	Forro de cobre
#24	<i>Bucentaure</i>	Francia	Forro de cobre
#25	<i>Bajo S. Sebastián</i>	España	Forro de cobre
#26	<i>Bajo S. Sebastián</i>	España	Forro de cobre
#27	Delta II	Italia	Forro de plomo
#28	Delta II	Italia	Forro de plomo

Tabla 01 |

Muestras analizadas en laboratorio y durante los ensayos realizados en el mar Mediterráneo (Málaga) en 2010

Tabla 02 |

Muestras analizadas durante los ensayos realizados en el pecio de *Bucentaure* (Cádiz) y el pecio de San Pedro de Alcántara (Málaga)

Tabla 03 |

Muestras de forros analizadas durante los ensayos realizados en el pecio de San Pedro de Alcántara (Málaga)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Optimización de parámetros experimentales en el análisis LIBS remoto bajo agua

A) Efecto de los parámetros operacionales de la sonda sobre la señal LIBS

Con el objetivo de obtener los mejores resultados proporcionados por el equipo, se optimizaron en el laboratorio aquellos parámetros que pueden afectar a la calidad de la señal LIBS como, por ejemplo, la distancia lente-muestra y el ángulo de incidencia de la radiación láser. Los estudios de parametrización se realizaron utilizando una muestra certificada de bronce en el interior de un tanque de agua.

La sonda sumergible consta de una apertura de 2 mm de diámetro, cuya posición debe ser ajustada para alcanzar las condiciones óptimas de enfoque. La sonda deberá estar en contacto directo con la superficie de la muestra. En este primer ensayo se utilizó He a 2 bares de presión como gas protector. Para asegurar la exactitud y precisión de las medidas, se empleó siempre el mismo protocolo de muestreo. Cada punto de análisis es el resultado de promediar 5 medidas, cada una de ellas interrogada con 25 pulsos láser. El valor de la medida se obtiene promediando los 15 últimos pulsos de la serie tras considerar los 10 primeros pulsos de limpieza. En la imagen 2 se muestra la intensidad de la señal de Cu (I) 521.96 nm como función de la distancia de trabajo. Una distancia igual a 0 mm implica que la muestra se encuentra situada en el punto focal de la lente. Se puede observar cómo la intensidad neta de cobre alcanza su valor máximo cuando el haz es enfocado 0.5 mm sobre la superficie de la muestra (+0.5 mm). Se observa un comportamiento similar cuando el punto focal se sitúa 0.5 mm bajo la superficie de la muestra (-0.5 mm). En ambos casos, la señal LIBS disminuye rápidamente al aumentar la distancia, ya que baja la dosis de energía depositada sobre la superficie de la muestra en términos de fluencia (J/cm^2). Es decir, la misma energía por pulso se aplica sobre un área superficial cada vez mayor a medida que el haz se desenfoca. El rango de operación es estrecho como consecuencia de la corta distancia focal (35 mm) requerida para enfocar el láser procedente del extremo de salida de la fibra óptica. A la vista de estos resultados, la distancia de trabajo se fijó a 0.5 mm sobre la superficie de la muestra.

La influencia del ángulo de incidencia del láser respecto a la superficie de la muestra fue un parámetro que había que considerar teniendo en cuenta las extremas condiciones a las que se ve sometido el buzo debido a las corrientes marinas. En la imagen 3 se presenta la influencia del ángulo de incidencia de la radiación láser sobre la señal LIBS

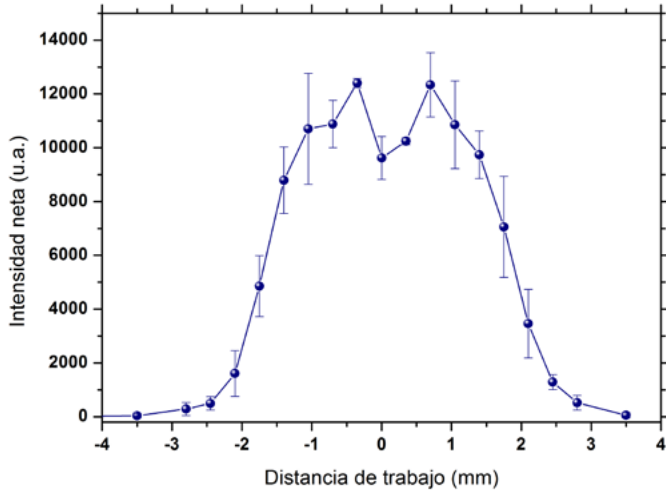


Imagen 02 |

Intensidad de Cu (I) 521.96 nm en función de la distancia de trabajo

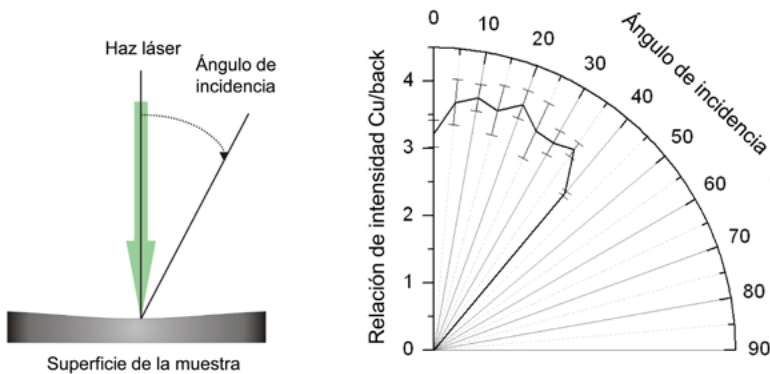


Imagen 03 |

Relación de intensidad $Cu_{background}$ en función del ángulo de incidencia entre la radiación láser y la superficie de la muestra

de una muestra de bronce. Como se observa, la máxima señal se alcanza cuando la sonda se sitúa prácticamente normal a la superficie (0-10°). Cuando la intensidad del cobre se normaliza al *background* del espectro, la respuesta LIBS se mantiene prácticamente constante en un rango entre 0° y 40°. Sin embargo, no se observa ninguna señal más allá de este ángulo debido a la dificultad de colectar la luz del plasma bajo esas condiciones geométricas.

B) Gases de protección

El empleo de un gas de protección o gas de purga es clave para evitar la entrada de agua en el interior de la sonda de análisis. La gran atenuación que produce el agua sobre la radiación de 1064 nm evitaría la deposición de una dosis suficiente de energía sobre la posición de análisis. Al mismo tiempo, impide la deposición de partículas procedentes de la muestra sobre la lente de enfoque. El flujo de gas procedente del módulo auxiliar viaja a través del umbilical y es expulsado

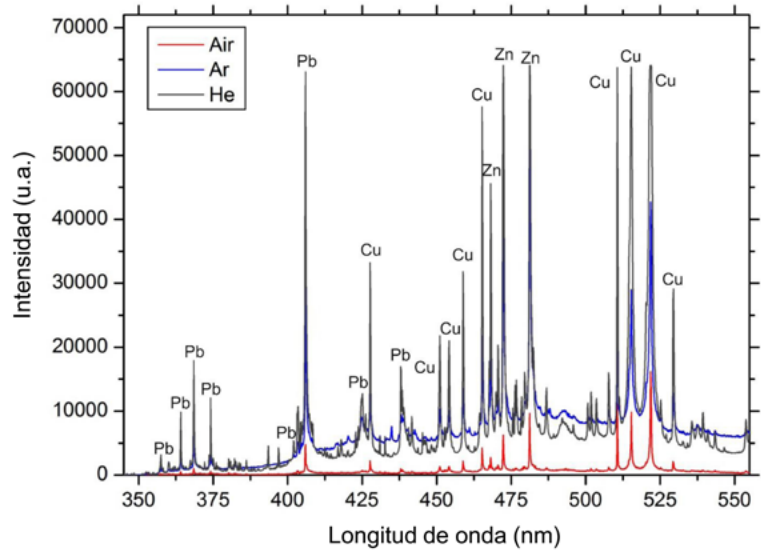


Imagen 04 |

Espectros LIBS de una muestra de bronce adquiridos en atmósfera de aire, helio y argón. Las principales líneas de emisión están etiquetadas en el espectro

al exterior a través de un orificio situado en la punta de la sonda. Este flujo de gas desplaza el agua de la superficie de la muestra y crea una interfase sólido-gas, facilitando así el análisis LIBS bajo agua. De este modo, en comparación con una interfase sólido-líquido, se mejora la eficiencia de ablación puesto que se evita la pérdida de energía que ocasionaría el calentamiento del líquido.

Además, se produce una mayor emisión del plasma como consecuencia del aumento tanto de la temperatura como de la densidad electrónica del mismo. Esto es debido a las colisiones que se producen con el gas circundante por parte del material ablacionado, de los electrones y de las distintas especies (excitadas o no) presentes en la pluma. Se evaluaron distintos gases (Ar, He y aire) durante el análisis de una muestra certificada de bronce. Los resultados se muestran en la imagen 4. Como puede observarse, el He proporcionaba la señal más intensa. Sin embargo, no se observó información adicional sobre la composición de la muestra en comparación con los resultados obtenidos usando aire. Por tanto, puesto que el aire se obtiene fácilmente empleando el compresor portátil y a un coste mucho menor, es lógico emplear este gas para el análisis rutinario. El uso de helio o argón puede ser útil en alguna aplicación concreta donde sea necesario aumentar la sensibilidad de la señal, por ejemplo para el análisis cuantitativo de elementos minoritarios o durante el análisis de material cerámico.

A fin de evitar la entrada de aire en el interior de la sonda de análisis, la diferencia de presiones (ΔP) entre el interior y el exterior de la misma debe ser superior a 1 bar. En la imagen 5 se muestra la influencia de ΔP sobre la señal LIBS de Cu (521.96 nm), Pb (405.89 nm) y el

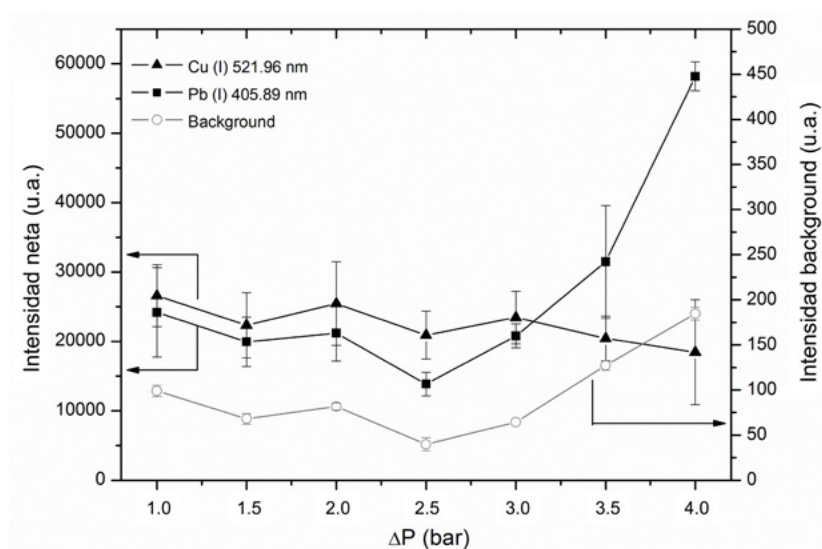


Imagen 05 |

Influencia del diferencial de presiones (ΔP) entre el interior y exterior de la sonda en la señal LIBS de Cu (521.96 nm), Pb (405.89 nm) y la intensidad del *background*

background. La intensidad de la señal es prácticamente constante cuando ΔP se sitúa entre 1 y 3 bares. A valores mayores de ΔP se observó un incremento tanto en la señal LIBS como en el *background*. Este hecho es especialmente interesante cuando se trabaja a grandes profundidades en el fondo del mar. Por otro lado, la precisión de los resultados fue bastante satisfactoria, obteniéndose unos valores para la desviación estándar relativa (RSD) entre 8-15 %.

Caracterización química bajo agua de objetos cerámicos

El efecto del agua de mar en materiales sumergidos produce típicamente la deposición de material sedimentario sobre la superficie de la muestra. En el caso de los metales este efecto es más severo, produciendo incluso la oxidación del objeto. En arqueología submarina, los objetos deben ser inspeccionados in situ, especialmente aquellos materiales que presentan un elevado grado de oxidación superficial. Los materiales cerámicos (por ejemplo, ánforas) descubiertos en yacimientos arqueológicos suelen aparecer cubiertos por varios tipos de depósitos: calcáreos y ferrosos. Con el objetivo de demostrar la capacidad del nuevo equipo para la caracterización química bajo agua de objetos cerámicos, se analizaron en el laboratorio varias muestras que presentaban estos dos tipos de depósitos. Para simular condiciones reales, las muestras se sumergieron en un tanque de agua. En la imagen 6 se muestran los espectros LIBS obtenidos en cada caso. Los depósitos calcáreos suelen aparecer como una capa blanca heterogénea de unos pocos milímetros de espesor. Su huella espectral corresponde a Ca, Mg y trazas de Sr. Hay que mencionar que tanto Mg y Sr suelen sustituir al Ca en las estructuras de carbonato cálcico. Las líneas de emisión de Fe y Sr detectadas alrededor de 405

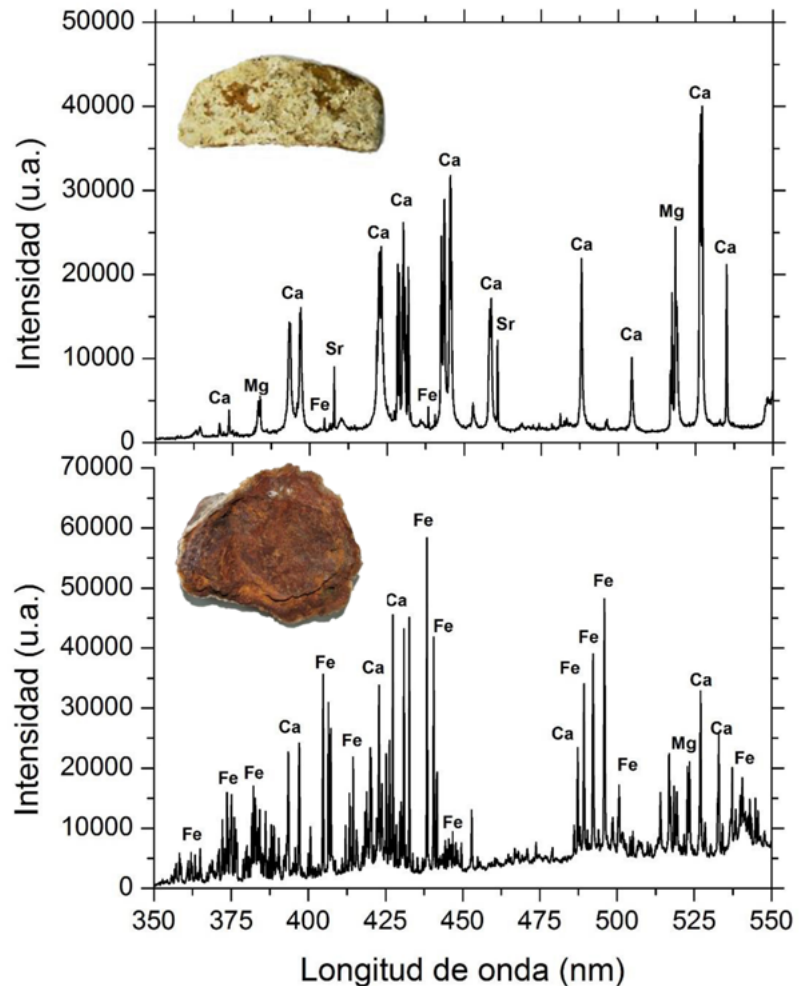


Imagen 06 |

Espectros LIBS de A) depósito calcáreo y B) depósito ferroso en una muestra cerámica. Las principales líneas de emisión están etiquetadas en el espectro

nm podrían ser utilizadas para la detección de bajas concentraciones de estos elementos puesto que se encuentran en una región espectral libre de interferencias de otros elementos. Por otro lado, la concreción de hierro presenta además otros elementos minoritarios como Ca y Mg, atribuidos a la deposición de material sedimentario sobre la superficie oxidada del material. Además, debido a la heterogeneidad y porosidad de estos materiales, se observó un aumento en la fluctuación pulso a pulso de la señal medida.

En el caso de las cerámicas, la porosidad intrínseca que presenta este tipo de material favorece la oclusión de agua en su estructura. Como se ha descrito anteriormente, el umbilical canaliza el suministro de gas en la sonda para retirar el agua de la superficie del material y crear una interfase gas-muestra que mejora la eficiencia de ablación. En la imagen 7, se presenta la influencia de la presión de aire sobre la señal LIBS de la muestra cerámica. ΔP es el diferencial de presiones entre el interior y el exterior de la sonda. Este diferencial de presiones no debe

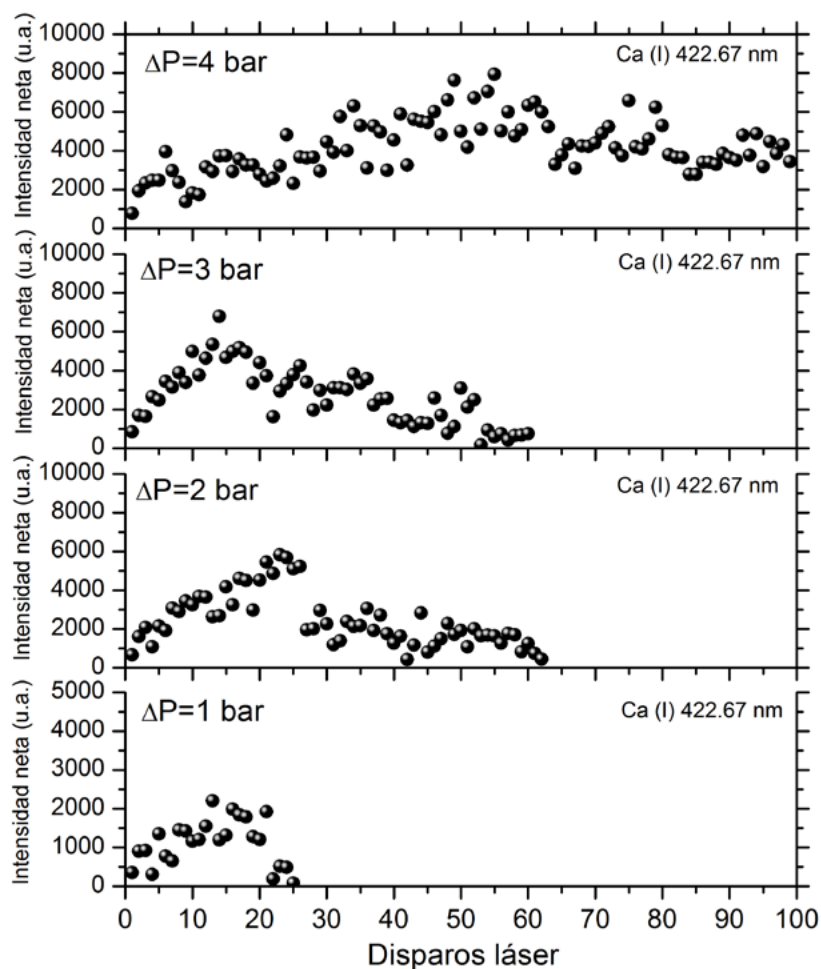


Imagen 07 |

Influencia de la presión de aire en la intensidad de la señal de Ca (I) 422.67 nm. ΔP es el diferencial de presiones entre el interior y exterior de la sonda de análisis

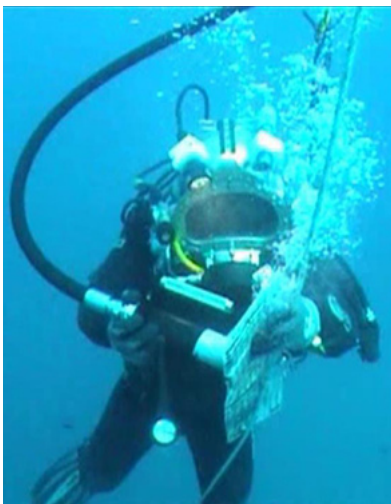
ser nunca inferior a 1 para evitar la entrada de agua en la sonda. Como se observa en la gráfica, mientras que a 1 bar la señal de Ca desaparece después de 25 pulsos láser, al aumentar ΔP hasta 2 y 3 bares, la intensidad de la línea de emisión desaparece después de casi 60 pulsos. Sin embargo, en el caso de $\Delta P = 4$ bar, la señal se mantiene durante mucho más tiempo. Esto se debe a que, a mayores valores de ΔP , las moléculas de agua son evacuadas más eficientemente, facilitando el análisis y, consecuentemente, el aumento de la señal LIBS. Con el objetivo de mejorar la caracterización química de materiales cerámicos durante una campaña de medida en un entorno real, el diferencial de presiones debe fijarse a su máximo valor, es decir 5 bares.

Reconocimiento e identificación de materiales en yacimientos arqueológicos sumergidos

El prototipo, instalado a bordo de una embarcación, fue controlado por el equipo científico mientras un buzo profesional operaba con la

Imagen 08 |

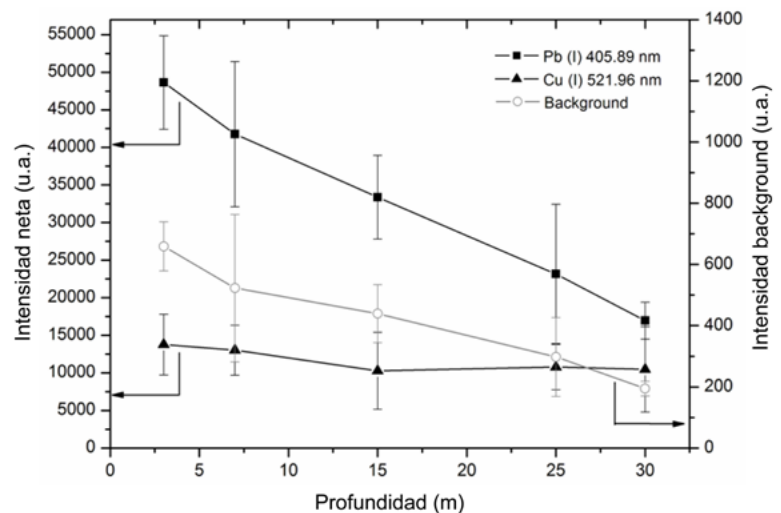
A la izquierda, buzo trabajando a 30 metros de profundidad. Imagen tomada durante la campaña de medida en la bahía de Málaga; a la derecha, influencia de la profundidad de inmersión en la señal LIBS



sonda de análisis en el fondo marino. El buzo estaba equipado con un sistema de audio y video que permitía la comunicación con los operadores en la cubierta del barco. Además, un buzo auxiliar con una cámara de video sumergible grababa todos los eventos del ensayo de campo. Por otro lado, el módulo auxiliar ofrecía total autonomía energética al equipo LIBS remoto.

A) Influencia de la profundidad de inmersión en la señal LIBS

En 2010, en un primer ensayo realizado en el mar Mediterráneo se evaluó la influencia de la profundidad de inmersión sobre la señal LIBS. Con el objetivo de alcanzar una profundidad de 30-35 metros, el barco se ancló aproximadamente a una milla de distancia de la costa en la Bahía de Málaga. A la máxima profundidad de trabajo (30 metros), la presión bajo agua es de 4 bares. Para asegurar un ΔP superior a 1 bar y evitar así la entrada de agua en el interior de la sonda, la presión de aire a la entrada del equipo se fijó a 5 bares. Para este estudio, se analizó un bronce plomado a diferentes profundidades: 3, 7, 15, 25 y 30 m. La señal LIBS de Pb (I) 405.89 nm y Cu (I) 521.96 nm se midió en función de la profundidad de inmersión. Estos resultados se presentan en la imagen 8. Como se observa, se produce una progresiva disminución de la señal LIBS de Pb a medida que aumentaba la profundidad, mientras que la señal de Cu se mantuvo prácticamente constante en todo el rango de profundidad. Este distinto comportamiento de Cu y Pb con la profundidad de inmersión fue atribuido a un efecto de matriz; esto significa que se puede producir una ablación preferencial o fraccionamiento de algunas especies en el plasma inducido por láser. De hecho, debido al ancho temporal (7 ns) y longitud de onda (1064 nm) del pulso láser, este efecto es incluso más pronunciado. En la escala de nano-segundos, la interacción entre el pulso láser y los estados de transición de los elementos



en la pluma podría también evaporar material de la superficie de la muestra. Por esta razón, la variación observada en la señal LIBS se podría atribuir a una diferente tasa de volatilización o proceso de atomización para Pb (Calor latente: 862 J/g; $T_{\text{Ebullición}}$: 1740°C) y Cu (Calor latente: 4790 J/g; $T_{\text{Ebullición}}$: 2595°C) en la pluma. Este efecto, el cual está muy bien documentado para aleaciones de cobre, se relaciona con procesos de *plasma shielding* y, en este caso, dicho parámetro se encuentra asociado a ΔP . De este modo, el comportamiento de la señal de Pb con la profundidad de inmersión se podría atribuir a los diferentes valores de ΔP , puesto que es el único parámetro que cambia durante el experimento. Como se mencionó al principio, la presión de entrada fue de 5 bares y, consecuentemente, ΔP decrece de 4 bares a 1 bar a medida que aumenta la profundidad de inmersión. Cuando ΔP presentaba los valores más altos (3 m de profundidad, $\Delta P = 4$ bar), el plasma se encuentra más confinado sobre la superficie de la muestra. De este modo, el número de especies localizadas en el plasma por unidad de volumen es mayor, ocasionando un mayor efecto de apantallamiento (*plasma shielding*). Debido a ello, la cola del pulso invierte gran parte de su energía en calentar la pluma por lo que la cantidad de radiación láser que alcanza la superficie de la muestra es menor. Por tanto, cuando la cola del pulso alcanza la superficie del material, sólo evaporará las especies con menor calor latente de vaporización, es decir, el Pb (MARGETIC; PAKULEV; STOCKHAUS, 2000). Como resultado, la pluma se va enriqueciendo en Pb, aumentando el número de especies emisoras de este metal. Esta es la razón por la que se produce un aumento de la intensidad de Pb en el espectro LIBS del material.

De este modo, la investigación efectuada demuestra que la técnica LIBS ofrece posibilidades únicas para la investigación del patrimonio arqueológico subacuático situado a decenas de metros de profundidad.

B) Caracterización espectral de materiales sumergidos

Desde un punto de vista arqueológico, es muy interesante disponer de un instrumento LIBS remoto capaz de reconocer materiales sumergidos, especialmente en aquellas circunstancias en las que el objeto no es reconocible a simple vista debido a condiciones de baja visibilidad o a un alto grado de corrosión del artefacto. En este sentido, la identificación de aquellos hallazgos que pueden tener valor arqueológico ayuda a tomar decisiones sobre la conveniencia o no de extraer la muestra de su yacimiento así como sobre su posterior conservación.

En este estudio, para demostrar el potencial de la técnica, se diseñaron campañas de medida en escenarios reales de interés en la

investigación del patrimonio arqueológico subacuático andaluz. En una primera etapa se organizó una campaña de medida en un yacimiento arqueológico real en la Bahía de Cádiz. Esta localización fue escogida por la multitud de yacimientos presentes en sus costas. La campaña se realizó del 9 al 11 de julio de 2012, estando compuesto el equipo de trabajo por los miembros del laboratorio láser de la Universidad de Málaga, un grupo de arqueólogos del Centro de Arqueología Subacuática (CAS), buzos profesionales y el personal técnico de apoyo del barco remolcador *Obama*. Los trabajos se planificaron en colaboración con el CAS para estudiar uno de los navíos más importantes que se encuentran hundidos en las costas andaluzas. Los restos estudiados correspondían al *Bucentaure*, el buque insignia de la armada franco-española durante la batalla de Trafalgar que reposa en la Bahía de Cádiz a 17 metros de profundidad. Hay que mencionar que la concreción de las zonas de análisis en la superficie de las piezas fue retirada por personal cualificado y autorizado del CAS, siguiendo los procedimientos habituales. De este modo se minimiza el riesgo de dañar los restos arqueológicos durante la manipulación. Igualmente, las zonas de análisis fueron selladas al finalizar el análisis para evitar el deterioro de las piezas.

Se analizaron e identificaron in situ distintos objetos que datan de finales del siglo XVIII a principios del siglo XIX, tales como cañones, un rosario (caja metálica para guardar el collar de cuentas del mismo nombre) y distintas aleaciones metálicas. Estos materiales se analizaron en el rango espectral 350-550 nm. En estos estudios se empleó un flujo de gas con una presión de entrada de 5 bares. Para asegurar la reproducibilidad de los resultados y obtener un espectro LIBS representativo de cada material, los datos se obtuvieron tras promediar 100 pulsos láser en 5 posiciones adyacentes de cada muestra. En la imagen 9 se presenta el espectro LIBS de un cañón, compuesto principalmente de Fe y en el que no se detectó la presencia de otros elementos como Ca y Mg (típicamente asociados a depósitos calcáreos y ferrosos) una vez eliminada la capa de concreción. La capa de corrosión fue eliminada localmente así que los datos obtenidos por LIBS correspondían exclusivamente al material original (figura 9A). En el caso del cañón, la desviación estándar relativa (RSD) fue del 30-40%. Durante las medidas, también se analizó el depósito ferroso depositado sobre la superficie del cañón. Sin embargo, en la zona oxidada, la intensidad de la señal LIBS era menor que en la superficie limpia del cañón. La variabilidad de la señal fue mucho mayor en la superficie corroída debido a la heterogeneidad y porosidad del material. En la imagen 9B se muestra una fotografía de uno los buzos identificando el cañón. Por otro lado, también se inspeccionaron otros objetos como un rosario y una pieza metálica (ambas identificadas como aleaciones de hierro), una pieza de cobre y un fragmento de plomo.

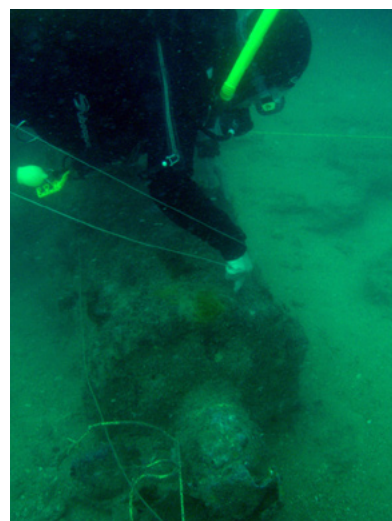
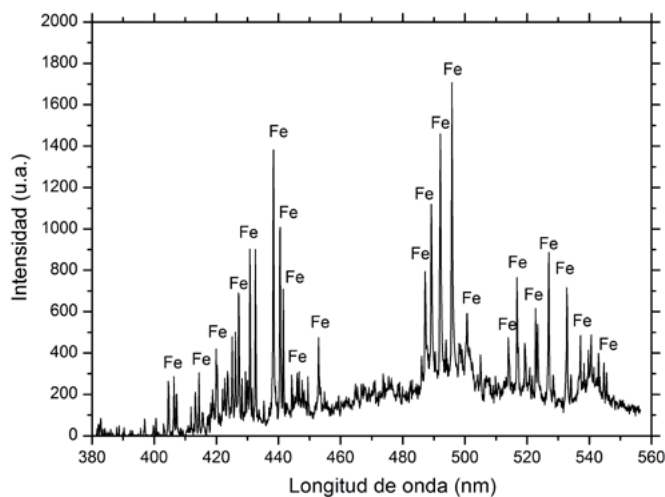


Imagen 09 (A y B) |

A) Espectro LIBS de un cañón de hierro tomado durante la campaña de medida en el pecio del *Bucentaure* y B) Fotografía tomada durante la inspección del pecio. Foto: Fondo Gráfico IAPH

Los resultados obtenidos fueron bastante satisfactorios y permitieron, por primera vez, el reconocimiento e identificación de materiales arqueológicos sumergidos en un escenario real como el yacimiento de Chapitel. A pesar de ello, tras la campaña de medida realizada en la Bahía de Cádiz se detectaron algunos aspectos mejorables en el analizador subacuático. Por ello se realizaron algunas modificaciones en el analizador, las cuales afectaban principalmente a la robustez del mismo, a su sellado y refrigeración, a la sonda de muestreo y al procesamiento de los datos. Para probar las nuevas mejoras implementadas se realizaron dos campañas de esfuerzo a orillas del Mediterráneo. De este modo, el instrumento fue sometido a condiciones límite para demostrar tanto la robustez del mismo durante su transporte y despliegue, como las mejoras generales realizadas sobre el instrumento tras la campaña en la Bahía de Cádiz. Estas mejoras se encaminaban, principalmente, a facilitar su uso y a aumentar su fiabilidad en un entorno tan hostil como el marino.

El siguiente paso en nuestra investigación fue la prospección arqueológica con sondeo LIBS del yacimiento subacuático de San Pedro de Alcántara. En este caso, se trataba de los restos de un navío de gran envergadura, en el que destaca una robusta estructura constructiva característica de barcos de origen militar. Con una eslora aproximada de 60 m y una manga de unos 10-12 m, el navío se localiza sobre un fondo de arena y cascajo, a una profundidad que oscila entre los 4 y los 7 metros. En la imagen 10 se muestra una panorámica del yacimiento. Cabe destacar, entre los artefactos detectados en el yacimiento, la presencia de restos del lastre de la embarcación, piezas de motonería, elementos de indumentaria, botones y hebillas, así como objetos pertenecientes a la vida a bordo y a la defensa del buque. La campaña se realizó del 20 al 23 de julio de 2015, estando com-

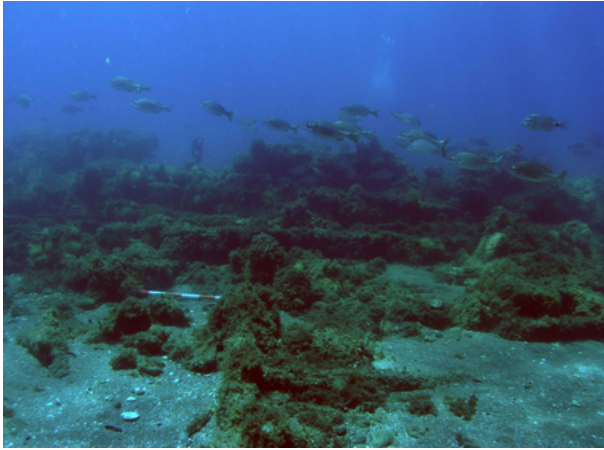


Imagen 10 |

Panorámica del yacimiento de San Pedro de Alcántara (Málaga). Foto: Fondo Gráfico IAPH

Imagen 11 |

Buzo analizando el pecio de San Pedro de Alcántara con la sonda LIBS. Foto: Fondo Gráfico IAPH



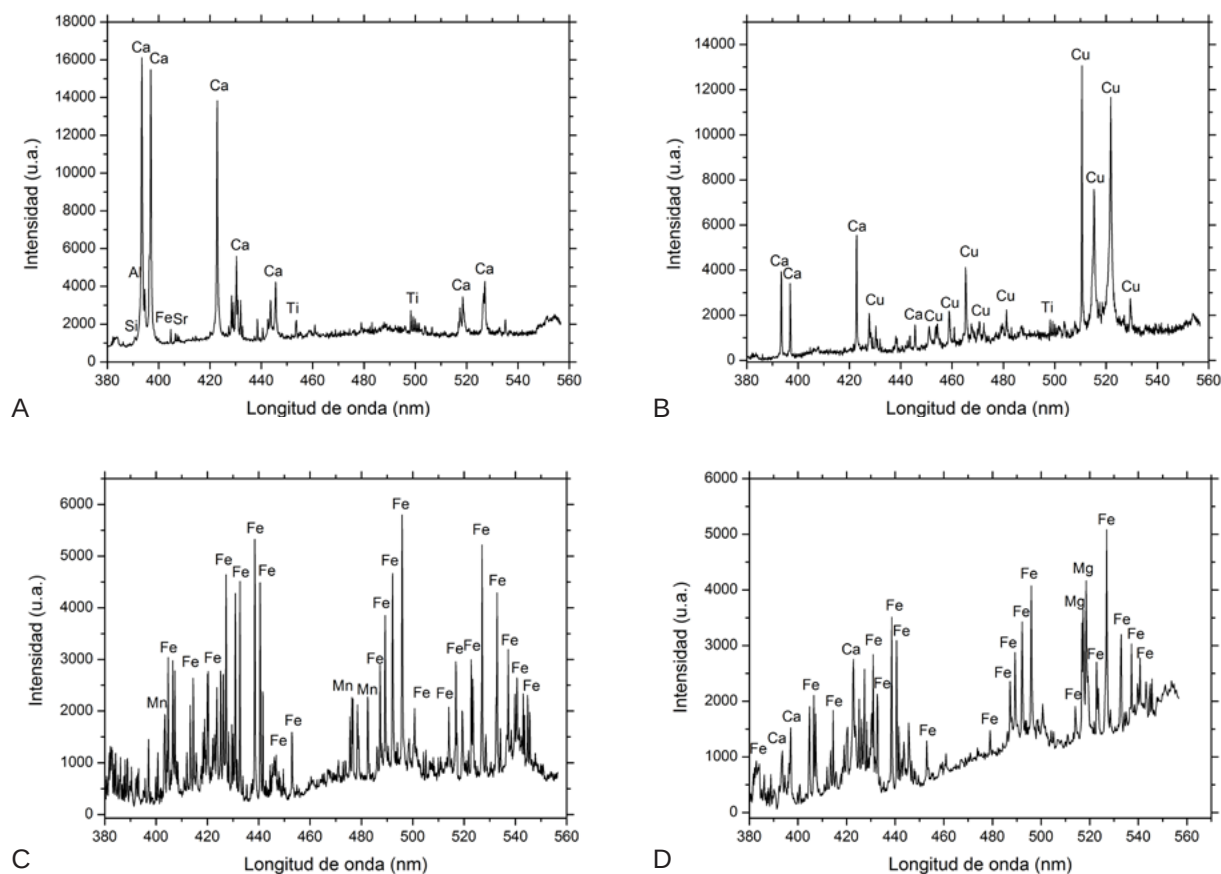
puesto el equipo de trabajo por los miembros del laboratorio láser de la Universidad de Málaga, un grupo de arqueólogos del Centro de Arqueología Subacuática (CAS), buzos profesionales, un equipo técnico avanzado de audio y sonido y el personal técnico de apoyo del barco *Tridacna*. Por otro lado, al igual que en el pecio del *Bucentaure*, la concreción de las zonas de análisis en la superficie de las piezas fue retirada por el personal cualificado y autorizado del CAS, quienes además realizaron una inspección del pecio y localizaron la posición de los materiales para que el buzo las analizara con la sonda LIBS sumergible (figura 11). Estos materiales se analizaron en el rango espectral 350-550 nm.

El protocolo de muestreo y toma de datos fue similar al descrito anteriormente en el yacimiento de Chapitel (Cádiz). Con respecto a la señal analítica, no se observó la presencia de líneas resonantes auto-absorbidas. Además, la reproducibilidad de los espectros obtenidos bajo agua fue más que aceptable en todos los casos, presentando una variabilidad inferior a un 10%. Únicamente aquellas muestras con un alto grado de corrosión presentaban fluctuaciones pulso a pulso superiores al 10% de RSD. La imagen 12 muestra los espectros LIBS correspondientes a los materiales analizados bajo agua. Como se observa, las diferencias entre materiales son apreciables. Así, la imagen 12A muestra que la cerámica arqueológica estudiada está compuesta principalmente por Al, Ca, Fe, Si y Ti, lo cual se podría correlacionar con la composición química de un material de tipo arcilloso. En la imagen 12B se muestra el análisis correspondiente a la muestra catalogada como botón de cobre, detectándose mayoritariamente Cu junto con trazas de Ca y Ti, posiblemente procedentes de la deposición calcárea. En la bala de cañón analizada, imagen 12C, se detectó principalmente Fe, aunque también se identificaron líneas de Mn en su composición. Por el contrario, en el caso del cañón, imagen 12D, únicamente se detectó hierro.

Uno de los estudios que se realizó durante la prospección arqueológica del pecio de San Pedro de Alcántara se centró en estudiar la composición química de muestras de forros procedentes de diferentes pecios. Así, el análisis LIBS pretende encontrar un elemento diferenciador que permita correlacionar la composición química con la procedencia del pecio. Los espectros LIBS característicos se muestran en la imagen 13. En el caso de las muestras del *Bucentaure*, de nacionalidad francesa, el espectro LIBS revela la presencia de cobre aunque en este caso también presenta una elevada concentración de calcio –líneas a 393.47 nm, 396.96 nm y 422.79 nm. En el caso del pecio *Mercante del bajo de San Sebastián*, de nacionalidad española, el análisis LIBS revela que su forro es mayoritariamente cobre. Por su parte, el pecio Delta II es el único pecio de nacionalidad italiana cuyo forro pudo ser analizado. Como se observa en la figura, el espectro LIBS está compuesto exclusivamente de líneas de emisión de plomo, descartando cualquier tipo de aleación con otro elemento químico. En principio, aunque los resultados obtenidos podrían establecer una correlación entre la composición del material y la procedencia del pecio, abriendo la puerta a una nueva línea de investigación, el análisis exclusivo del elemento mayoritario no es suficiente

Imagen 12 |

Espectros LIBS característicos de algunos materiales analizados en el yacimiento de San Pedro de Alcántara A) cerámica, B) botón de cobre, C) bala de cañón y D) cañón de hierro



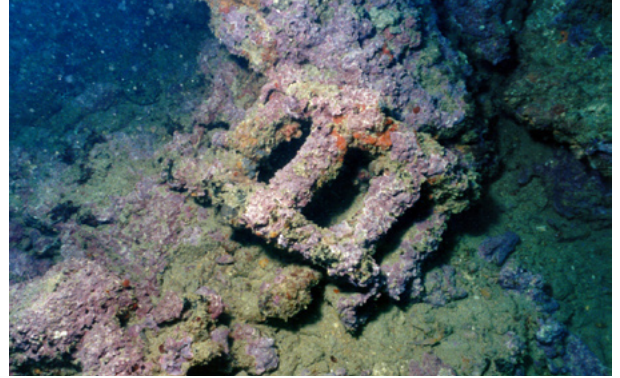
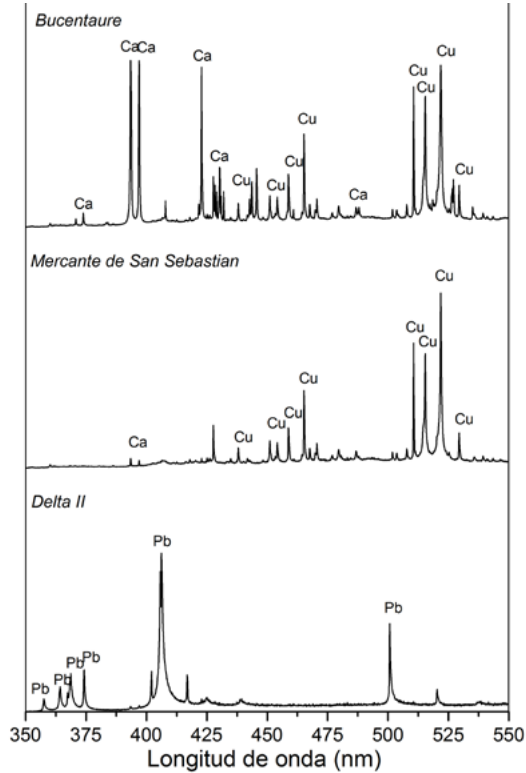


Imagen 13 |

A la izquierda, espectros LIBS correspondientes a los forros del *Bucentaure* (Francia), *Mercante de San Sebastián* (España) y *Delta II* (Italia).

A la derecha y de arriba abajo, rueda de bomba de achique del *Bucentaure*. Foto: Fondo Gráfico IAPH; forro de plomo en pecio *Delta II*. Foto: Tanit Gestión Arqueológica

para asegurar tal afirmación y se requiere un estudio más exhaustivo de los componentes minoritarios (BETHENCOURT; BOCALANDRO; ROMERO, 2011).

CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se ha demostrado el potencial de la espectroscopia de plasmas inducidos por láser (LIBS) para el reconocimiento e identificación de materiales arqueológicos en yacimientos subacuáticos. Los resultados obtenidos durante las campañas de medida confirman la madurez de la tecnología y su capacidad para adaptarse al ambiente marino. Para ello, se ha construido un instrumento LIBS remoto basado en fibra óptica y capaz de analizar objetos sumergidos hasta una profundidad de 50 metros. El uso de una configuración de multi-pulso (MP-LIBS) incrementa la radiación láser transmitida a lo largo de la fibra óptica (74% de transmisión), mejorando así las prestaciones del equipo.

Se ha realizado una serie de experimentos en laboratorio con el objetivo de optimizar las condiciones de análisis. En este sentido, la señal LIBS no se ve afectada por el ángulo de incidencia en un rango de

tolerancia entre 0-40°. El uso de un gas de purga es necesario para evacuar el agua de la superficie de la muestra y generar una interfase sólido-gas que mejora la eficiencia de ablación. Para evitar la entrada de agua en la sonda, el diferencial de presiones debe ser al menos 1 bar. El uso de He o Ar mejora sensiblemente la señal LIBS.

Los resultados obtenidos durante las campañas de medida organizadas en los yacimientos arqueológicos de Chapitel y San Pedro de Alcántara fueron bastante satisfactorios y permitieron, por primera vez, el reconocimiento e identificación de materiales arqueológicos sumergidos. Se detectaron y analizaron material cerámico, mármoles, aleaciones de bronce, fragmentos de plomo e incluso cañones de hierro. Además, también se ha correlacionado la composición química de muestras de forros procedentes de diferentes pecios con la procedencia de los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

- BETHENCOURT, M.; BOCALANDRO, A.; ROMERO, J.** (2011)
 Datación de pecios de los siglos XVIII y XIX a través de la caracterización de los forros de cobre. En *IV Congreso Latinoamericano de Conservación y Restauración de Metal, Madrid (13 al 17 de septiembre de 2011)*. Madrid: Secretaría General Técnica, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte; Grupo Español de Conservación, 2011, pp. 51-62
- BONIFACIO, C.** (2008)
Galeones con Tesoros. Dónde están hundidos, Qué llevaban. Brenes: Muñoz Moya Editores Extremeños, 2008
- BOWEN, A.** (2009)
Underwater Archaeology: The NAS Guide to Principles and Practice. 2nd ed. Portsmouth: Blackwell Publishing, 2009
- CHARFI, B.; HARITH, M. A.** (2002)
 Panoramic laser-induced breakdown spectrometry of water. *Spectrochim. Acta Part B*, vol. 57, 2002, pp. 1141-1153
- CONVENTION on the Protection of the Underwater Cultural Heritage** (2001)
 Paris: Unesco, 2001
- CREMERS, D. A.; RADZIEMSKI, L. J.; LOREE T. R.** (1984)
 Spectrochemical analysis of liquids using the laser spark. *Appl. Spectrosc.*, vol. 38, 1984, pp. 721-726
- DE GIACOMO, A.; DELL'AGLIO, M.; COLAO, F. et ál.** (2004)
 Double pulse laser produced plasma on metallic target in seawater: basic aspects and analytical approach. *Spectrochim. Acta Part B*, vol. 59, 2004, pp. 1431-1438
- DE GIACOMO, A.; DELL'AGLIO, M.; DE PASCALE, O. et ál.** (2007)
 From single pulse to double pulse ns-laser induced breakdown spectroscopy under water: elemental analysis of aqueous solutions and submerged solid samples. *Spectrochim. Acta Part B*, vol. 62, 2007, pp. 721-738
- FANTONI, R.; BARBINI, R.; COLAO, F. et ál.** (2004)
 Integration of two lidar fluorosensor payloads in submarine ROV and flying UAV platforms. *EARSeL eProc.*, vol. 3, 2004, pp. 43-53
- FORTES, F. J.; CORTÉS, M.; SIMÓN, M. D. et ál.** (2005)
 Chronocultural sorting of archaeological bronze objects using laser-induced breakdown spectrometry. *Anal. Chim. Acta*, vol. 554, 2005, pp. 136-143
- FORTES, F. J.; CUÑAT, J.; CABALÍN, L. M. et ál.** (2007)
 In situ analytical assessment and chemical imaging of historical buildings using a man-portable laser system. *Appl. Spectrosc.*, vol. 61, 2007, pp. 558-564
- FORTES, F. J.; LASERNA, J. J.** (2010)
 The development of fieldable laser-induced breakdown spectrometer: no limits on the horizon. *Spectrochim. Acta Part B*, vol. 65, 2010, pp. 975-990
- FORTES, F. J.; MOROS, J.; LUCENA, P. et ál.** (2013)
 Laser-induced breakdown spectroscopy. *Anal. Chem.*, vol. 85, 2013, pp. 640-669
- GIAKOUMAKI, A.; MELESSANAKI, K.; ANGLOS, D.** (2007)
 Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) in archaeological science-applications and prospects. *Anal. Bioanal. Chem.*, vol. 387, 2007, pp. 749-760
- GUIRADO, S.; FORTES, F. J.; CABALIN, L. M. et ál.** (2014)
 Effect of Pulse Duration in Multi-Pulse Excitation of Silicon in Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS). *Appl. Spectrosc.*, 2014, vol. 68, pp. 1060-1066
- GUIRADO, S.; FORTES, F. J.; LASERNA, J. J.** (2015)
 Elemental analysis of materials in an underwater archeological shipwreck using a novel remote laser-induced breakdown spectroscopy system. *Talanta*, vol. 137, 2015, pp. 182-188
- GUIRADO, S.; FORTES, F. J.; LAZIC, V. et ál.** (2012)
 Chemical analysis of archeological materials in submarine environments using laser-induced breakdown spectroscopy. On-site trials in the Mediterranean Sea. *Spectrochim. Acta, Part B*, vol. 74-75, 2012, pp. 137-143
- LAZIC, V.; COLAO, F.; FANTONI, R. et ál.** (2005)
 Recognition of archaeological materials underwater by laser induced breakdown spectroscopy. *Spectrochim. Acta Part B*, vol. 60, 2005, pp. 1014-1024
- LAZIC, V.; LASERNA, J. J.; JOVICEVIC, S.** (2013a)
 Insights in the laser-induced breakdown spectroscopy signal generation underwater using dual pulse excitation. Part I: Vapor bubble, shockwaves and plasma. *Spectrochim. Acta, Part B*, vol. 82, 2013, pp. 42-49
- LAZIC, V.; LASERNA, J. J.; JOVICEVIC, S.** (2013b)
 Insights in the laser-induced breakdown spectroscopy

signal generation underwater using dual pulse excitation. Part II: Plasma emission intensity as a function of interpulse delay. *Spectrochim. Acta, Part B*, vol. 82, 2013, pp. 50-59

LEÓN AMORES, C. (2009)

Buceando en el Pasado. Madrid: Espasa Calpe, 2009

MARGETIC, V.; PAKULEV, A.; STOCKHAUS, A. et ál. (2000)

A comparison of nanosecond and femtosecond laser induced plasma spectroscopy of brass samples. *Spectrochim. Acta Part B*, vol. 55, 2000, pp. 1771-1785

WHITE, S. N.; DUNK, R. M.; PELTZER, J. J. et ál. (2006)

In situ Raman analyses of deep-sea hydrothermal and cold seep systems (Gorda Ridge and Hydrate Ridge). *Geochem, Geophys. Geosyst.*, vol. 7, 2006, Q05023

La autenticidad en la práctica. Ejemplos desde ocho sitios con arte rupestre clasificados como patrimonio mundial

Anders Gustafsson 01| Håkan Karlsson 01|

Durante la última década la *Carta de Ename* ha reavivado las discusiones sobre la posición de las instituciones responsables de la administración del patrimonio cultural en relación con el uso del concepto de autenticidad en los materiales, y a la participación más activa de la sociedad civil en los sitios clasificados como patrimonio mundial. A pesar de que dicho documento representa un avance significativo en lo que respecta a la modernización de la idea de autenticidad y a la relación patrimonio-espectador- especialistas, el propósito de este artículo es exponer las limitaciones y dificultades prácticas de los avances teóricos de dicha carta. Se presenta un análisis del concepto de autenticidad a través del estudio de la “puesta en escena” y la comunicación pública en ocho sitios con arte rupestre, de diferentes partes del mundo, catalogados como Patrimonio Mundial. El texto revisa la idea de autenticidad que se utiliza en dichos sitios, el poder de las entidades responsables de ellos y cómo el concepto de autenticidad se encarna en cada uno dependiendo de la posición adoptada por las entidades que lo administran.

Palabras clave

Arte rupestre | Autenticidad | Carta de Ename (2008) | Patrimonio cultural | Patrimonio mundial |

Authenticity in practice. Examples from eight rock art sites classified as World Heritage

Anders Gustafsson 01| Håkan Karlsson 01|

During the last decade the *Ename Charter* has vitalized the discussions of cultural heritage management concerning stakeholder participation and a more active public involvement, as well as concerning the issue of the authenticity at heritage sites. Despite the fact that the charter represents important developments and modernizations of the concept of authenticity, and the relation between cultural heritage–public–experts, the paper highlights the practical limitations and difficulties of the theoretical developments in the charter. The paper presents an analysis of the concept of authenticity through a study of the staging and the public communication at eight World Heritage classified rock art sites from different parts of the world. The paper analyses the idea of authenticity that is used at these heritage sites, the power of the heritage management responsible for them and how the concept of authenticity are materialized at the sites due to the attitude of the heritage managers.

Keywords

Rock art | Authenticity | Ename charter (2008) | Cultural heritage | World heritage |

URL de la contribución <<http://www.iaph.es/phinvestigacion/index.php/phinvestigacion/article/view/100>>

INTRODUCCIÓN

Desde las últimas décadas del siglo diecinueve, ha dominado una actitud irreflexiva y axiomática sobre el contenido del concepto de autenticidad en el campo del anticuarismo y la administración del patrimonio cultural en el mundo occidental. La idea de autenticidad ha estado dominada en occidente por la visión positivista, que tiende a asociar dicha noción con originalidad o genuinidad. Cuando este enfoque de autenticidad es el que determina el valor de los restos prehistóricos, resulta fundamental probar cómo los cuerpos sólidos se corresponden con aspectos físicos medibles como la cronología, el material, la forma, el contexto primario o la función (JONES, 2010; HOLTORF, 2013). La visión clásica de la autenticidad ha sido cuestionada en las últimas décadas por ser demasiado generalista y estar arraigada en el pensamiento occidental (LOWENTHAL, 1985, 1997; SHANKS, 1998; HOLTORF; SCHADLA-HALL, 1999; HOLTORF, 2005; JONES, 2010; HARRISON, 2012).

Esta situación ha llevado a la celebración de una serie de conferencias, financiadas por la UNESCO, con el propósito de encontrar una definición adecuada para el concepto de autenticidad, que pueda ser utilizada en diversos contextos, y a nivel mundial, por las distintas instituciones encargadas de la administración del patrimonio. Un punto de inflexión en estas discusiones es sin duda la Conferencia de Nara sobre la autenticidad, que tuvo lugar en Nara –Japón– en 1994. Los resultados de estas conferencias han dado lugar a una relativización de los contenidos del concepto de autenticidad a través de la aceptación del hecho de que esta última debe ser puesta en un contexto histórico y cultural, aceptando que significa diferentes cosas en situaciones y ambientes culturales distintos (JOKILEHTO, 1995; LOWENTHAL, 1995; LARSEN, 1995; STOVEL, 2007). Se puede ver claramente, por ejemplo, en los párrafos 11 y 13 del *Documento de Nara* (UNESCO, 1994).

En 2008 ICOMOS ratificó la *Carta de Enane* como instrumento para la interpretación y presentación de sitios de patrimonio cultural, y en sus siete principios se confirman y desarrollan nuevos ideales. Como la aspiración universal de establecer principios éticos, globalmente válidos, que propicien una comunicación entre los restos materiales y el público que los visita, o la resolución a los problemas clásicos de tensiones entre especialistas y espectadores, la preservación y la accesibilidad de los sitios al público, y la influencia de los procesos culturales en los lugares patrimonio mundial (ICOMOS, 2007). En ese sentido la *Carta de Enane* considera todos los tipos de procesos de conservación y gestión de los restos prehistóricos como un acto social, comunicativo y contextualmente influido. Dicha carta también se centra en las relaciones comunicativas entre patrimonio–especta-

dor–especialistas; en la participación de los espectadores; en la interpretación y el uso del patrimonio cultural a lo largo de la historia por parte de los visitantes y de las comunidades locales; en la aceptación de los puntos de vista, las interpretaciones alternativas y la inclusión de las historias contadas por los lugareños sobre los restos (ICOMOS, 2007). Está orientada por el principio de que los sitios de patrimonio mundial están insertos en contextos sociales, económicos y políticos. De este modo, la carta logra avanzar en el proyecto de renovación de la idea de autenticidad en consonancia con las líneas marcadas por el *Documento de Nara*.

A pesar de estos esfuerzos, dirigidos hacia una definición más amplia de la autenticidad, la tendencia actual de una mayor accesibilidad y participación pública en los sitios patrimonio mundial se ve truncada en tanto que en dichos lugares rige aún un enfoque tradicional del concepto (GUSTAFSSON; KARLSSON, 2004a; 2004b; 2004c; 2004c; 2006; 2008; 2012). Desde nuestro punto de vista, las nuevas miradas en torno a la autenticidad de los materiales culturales contenidas en el *Documento de Nara* y en la *Carta de Enane* no se llevan a la práctica en la mayor parte de los lugares clasificados como patrimonio mundial. Pensamos que la implementación de esta nueva mirada no se realizará hasta que el concepto de autenticidad se redefina de un modo constructivo. Por lo tanto, en el desarrollo de este trabajo, tenemos la intención de:

> indagar cómo el concepto de autenticidad se materializa en ocho sitios con arte rupestre, clasificados como patrimonio mundial; y

> discutir los modos en los que la autenticidad ha sido entendida en la relación con los restos materiales y las entidades patrimoniales, así como explicar de qué forma este concepto se puede redefinir de un modo constructivo.

LA AUTENTICIDAD EN LA PRÁCTICA

Naturalmente esta discusión puede tener lugar en un plano puramente teórico. Pero, desde nuestra perspectiva, la forma más eficaz de llegar al tema y discutirlo es realizando un análisis comparativo y empírico en los lugares de patrimonio cultural, donde las ideas acerca de la autenticidad cobran vida y se materializan. Visitando los sitios es posible observar cómo las concepciones respecto a la autenticidad se materializan en los lugares; cómo dichas concreciones afectan el acceso físico e imaginario del público al arte rupestre y su relación e interacción con el pasado; y, por último, el impacto real del *Documento de Nara* y de la *Carta de Enane* a través del estudio de la relación arte rupestre–espectador–especialistas.

A partir de estos planteamientos se ha decidido visitar ocho sitios con arte rupestre clasificados como patrimonio mundial de diferentes partes del mundo, y, por consiguiente, con contextos culturales distintos. Los sitios son: Altamira (España), Bhimbetka (India), Cueva de las Manos (Argentina), Kondoa (Tanzania), Sierra de San Francisco (México), Tanum (Suecia), Naquane (Italia) y Ubirr (Australia).

Métodos

Para llevar a cabo este objetivo se eligió el método etnográfico, con el fin de evaluar la implementación práctica del concepto de autenticidad llevada a cabo por los profesionales en arqueología dentro de los sitios de patrimonio mundial (EDGEWORTH, 2003; 2006). Dicha metodología puede asimilarse a la de un científico que trata de convertir su propia mirada en su tema de estudio, adoptando la misma postura de asombro que nos caracteriza como arqueólogos cuando estudiamos una cultura de la antigüedad. Estamos convencidos de que, si pasamos nuestra disciplina por un examen etnográfico que reflexione sobre nuestro propio quehacer, podemos aprender algo sobre nosotros mismos y sobre la arqueología como una actividad social, cultural y existencial llevada a cabo en el presente.

La aplicación del método etnográfico a nuestra disciplina nos conduce hacia una serie de procedimientos como por ejemplo: observación participante; estudios sobre el movimiento geográfico de las visitantes en sitios prehistóricos; encuestas; entrevistas; análisis de los discursos, etcétera.

Sin embargo, para investigar cómo la idea de autenticidad se materializa en los ocho sitios seleccionados, elegimos estudiar, directamente en los sitios, el tipo de discurso y el modo en que el arte rupestre es presentado a los espectadores por los especialistas. Para analizar lo primero, los discursos, entre el elenco de infraestructuras de comunicación existentes en los sitios, hemos optado por centrarnos en el examen de las señales informativas y en el análisis de los textos que contienen. Por un lado trazan una idea del concepto de autenticidad, que opera internamente en la información transmitida a los espectadores sobre lo que es y no es arte rupestre; y por otro, informan sobre el acceso imaginario del público a los artificios del pasado.

Respecto al modo de presentar el arte rupestre a los espectadores, hemos elegido examinar el *stage* o puesta en escena, ya que la manera de disponer espacios y objetos rupestres para el público revela cómo opera el concepto de autenticidad, ya no a nivel discursivo, sino en los materiales prehistóricos mismos, e informa del acceso físico de los visitantes a estos últimos. Los dos dispositivos de análisis, *stage* y avisos informativos, ponen al descubierto la visión de

la idea de autenticidad que yace en la práctica en los sitios, y nos permite documentar si los ideales del Documento de Nara, de la Carta de Ename, y los envites a favor de la modernización del concepto se dan sólo en las discusiones teóricas, o si tienen una vida efectiva en los lugares de patrimonio mundial.

Este enfoque metodológico entraña una serie de problemas teóricos, y sabemos que existen otras dinámicas de interacción con el público y las poblaciones locales en algunos de los sitios que hemos elegido para nuestro análisis. Nuestro trabajo no niega esta circunstancia, sino que, por razones prácticas y de viabilidad, nos hemos centrado en considerar directamente en los sitios cómo se relacionan con la autenticidad los dos parámetros de análisis seleccionados (stage y avisos informativos). A pesar de estas limitaciones estamos convencidos de que no es necesario utilizar toda la batería de procedimientos anteriormente mencionados, puesto que los seleccionados son suficientes para obtener un resultado interesante. Para llevar a cabo nuestra empresa registramos ambos parámetros en los ocho sitios seleccionados y los analizamos a la luz de tres categorías: acceso físico; acceso imaginario; y amenazas y salvaguardias (algunas de las cuales están sacadas directamente de la Carta de Ename), constituidas cada una de ellas por una serie de variables.

Los sitios

Durante la visita a los sitios de Altamira (España), Bhimbetka (India), Cueva de las Manos (Argentina), Kondoa (Tanzania), Sierra de San Francisco (México), Tanum (Suecia), Naquane (Italia) y Ubirr (Australia), notamos ciertas similitudes en la puesta en escena de los artefactos y espacios rupestres, así como en los contenidos de las señales informativas de los lugares. Estas coincidencias no son sorprendentes, ya que los sitios clasificados como patrimonio mundial se organizan y administran bajo un marco de regulación común. Sin embargo, como veremos a continuación en el apartado de análisis, existen matices importantes entre los diferentes sitios visitados en relación con las posturas adoptadas y materializadas en cuanto al concepto de autenticidad. Estas diferencias ofrecen un valioso material para determinar en qué medida se aplican en la práctica las recomendaciones sugeridas en el Documento de Nara y en la Carta de Ename respecto al manejo del concepto de autenticidad en estos sitios.

De todos ellos existen estudios previos sobre arte rupestre y su gestión, y en algunos casos también encontramos estudios sobre la relación arte rupestre–espectador–especialistas, y el valor o función social de los sitios, etcétera. Por ejemplo, de Altamira, Barreiro y Criado-Boado (2015); de Bhimbetka, en Husain y Datt (2005); Cueva de las Manos, por Onetto (2001); Onetto, Cassiodoro, Colombo et



Imagen 1 |

Puesta en escena en Aspeberget. Tanum, Suecia. Foto: Håkan Karlsson

ál. (2010); Kondo, por Masao (1982); Sierra de San Francisco, por Gutiérrez, Hambleton, Hyland et ál. (1996); Tanum en Bertilsson (1994), Gustafsson y Karlsson (2008, 2012); Naquane, por Anati (2004), Gustafsson y Karlsson (2008); Ubirr, en Hill y Press (1994), Lea, Webb y Graham (1995). Sin embargo, antes de este trabajo solo los sitios Altamira, Tanum y Naquane fueron estudiados con métodos parecidos a los que aquí presentamos.

ANÁLISIS

Con el fin de identificar las diferencias y semejanzas en los ocho sitios visitados, han sido agrupados en tres modalidades: casos duros, medios y blandos. Aunque esta terminología es mejorable, se ha optado por utilizarla pensando que las tres categorías escogidas reflejan la relación arte rupestre–espectador–especialistas.

Los casos duros

Tanum, Cueva de las Manos y Altamira conforman el grupo de casos duros en tanto que estos sitios proyectan una visión tradicional del concepto de autenticidad que se capta a través del modo en que están dispuestos los elementos artísticos en el lugar, y en la redacción de los textos contenidos en los avisos informativos que comentan las obras y espacios rupestres del sitio. En estos tres lugares hallamos manipulaciones claras que limitan el acceso físico e imaginario del público, y, en general, la experiencia de este último con el arte rupestre. En cuanto al stage –acceso físico– notamos que se aísla al público del arte rupestre a través de cables, cercas, escaleras, cami-



Imagen 2 |
Letrero indicador en Ubirr. Parque Nacional de Kakadu, Australia. Foto: Håkan Karlsson

Imagen 3 |
Restricción de acceso en Altamira. Foto: Håkan Karlsson

nos, carreteras y señales que lo conducen a experimentar una especie de odisea controlada. Abundan los avisos que indican el camino y explican el comportamiento que está permitido, o, más bien, el comportamiento que no está permitido dentro de los sitios. Las posibilidades para que los visitantes se acerquen a las obras de arte rupestre desde diferentes ángulos o direcciones o en formas inesperadas son realmente limitadas. Se suele argumentar que este tipo de puesta en escena se hace justamente para facilitar el acceso del público, pero, en la mayoría de los casos, vemos que los lugares con arte rupestre son accesibles incluso sin rampas, caminos, carreteras, señales, etc. Parece más bien que toda esta infraestructura funciona, por un lado, como una manera de controlar el acceso y la experiencia de los visitantes en los sitios y, por el otro, como medio de protección de las obras rupestres.

De los tres sitios ubicados en este grupo Altamira constituye un caso especial, ya que el público no puede visitar la cueva en la que se hallan las pinturas rupestres. En su lugar se ha construido una réplica a escala real que se ha instalado en un museo, construido en posición adyacente a la cueva original, y llama la atención que incluso dentro de la réplica el recorrido de los visitantes está estrictamente pautado y controlado. También parece un caso extremo Tanum, lugar en el que, por una parte, existe un grupo especial de grabados que permanece oculto a los ojos del público de modo permanente. De tal manera que los visitantes nunca tienen acceso a estas obras prehistóricas, y, por otro lado, existe un grupo de grabados que permanece oculto parcialmente, solo durante la estación de invierno, bajo el argumento de la necesidad de proteger el arte rupestre de la lluvia ácida y, en general, de la influencia de los fenómenos naturales.



Imagen 4 |

Neocueva de Altamira. Foto: José Miguel Martínez

En cuanto a las fuentes de información que regulan el acceso imaginario a los objetos y espacios rupestres, varían en los tres sitios que conforman este grupo. En Altamira y Tanum la fuente principal de información acerca de los sitios la constituyen los avisos informativos, mientras que en la Cueva de las Manos encontramos que, aunque estos artefactos juegan un rol informativo importante, la fuente principal son los guías profesionales del sitio. Dichos guías, de acuerdo con la política de este lugar, son necesarios para realizar los recorridos, y además son los encargados de proporcionar información científica de las obras rupestres y del sitio en general.

En estos tres sitios de patrimonio mundial la información presentada por los guías o la anunciada en las señales hace hincapié en su singularidad e importancia, en las posibles amenazas, y en la protección jurídica que se aplica a los mismos. También notamos en los tres sitios que los avisos informativos están redactados en un lenguaje científico, libre de ambigüedades o incertidumbres, y que no hay lugar para las tradiciones o narraciones locales. Por ejemplo, no existe una presentación que comente las influencias políticas, sociales y culturales que han tenido los distintos grupos humanos a lo largo de la historia sobre los restos rupestres dejados por los grupos primitivos.

En este sentido observamos que en Altamira, Tanum y en la Cueva de las Manos se impone un discurso de estilo monológico que profundiza la separación temporal entre pasado y presente, agudiza el debate entre la preservación del arte rupestre frente al acceso del público a este último, y agrava la discusión acerca de la división social entre los “expertos” y conocedores del arte rupestre, y los visitantes, no especializados, pero interesados en el mismo. Consecuencia de lo ante-



Imagen 5 |
Cueva de las Manos (Argentina). Foto: Lisa Weichel (https://www.flickr.com/photos/lisa_aw/)

rior es que, en estos tres sitios, al público no se le anima a reflexionar sobre sus ideas o creencias en torno al arte rupestre y tampoco se le estimula a crear y a comentar sus interpretaciones sobre dicho arte. Por lo tanto, el rol del visitante no consiste en la apropiación e incorporación de la historia y cultura material del pasado en los procesos culturales del presente, sino en responder pasivamente a la versión de la prehistoria diseñada por los especialistas.

Las observaciones anteriores nos permiten advertir que ninguno de los sitios que conforman este grupo reconocen ni manejan un concepto de autenticidad elástico, progresivo, acorde con las nuevas directrices trazadas en el Documento de Nara y en la Carta de Ename. A propósito de lo cual, sin embargo, merecen ser mencionados los acontecimientos recientes de Altamira: desde 2002 la cueva que contiene las pinturas originales ha estado cerrada para los visitantes, pero durante 2014 se abrió para un número limitado de visitas, de forma experimental. Los resultados de este experimento serán la base para las decisiones sobre el futuro de la accesibilidad de las visitantes a la cueva (FERNÁNDEZ-SANTOS, 2014). En este contexto, algunos proyectos científicos amplían las discusiones contemporáneas y discuten el valor social de Altamira en distintos niveles (BARREIRO; CRIADO-BOADO, 2015), mientras en los periódicos aparecen exigencias científicas reclamando el cierre permanente de la cueva (VICENTE GARCÍA; MARTÍNEZ NAVARRETE; CHAPA BRUNET, 2014).

Los casos medios

Ubicamos en este grupo los sitios de Naquane y Bhimbetka. Al igual que en los casos anteriores, estos lugares proyectan una concepción conservadora sobre la idea de autenticidad, lo que se nota tanto en la



Imagen 6 |

Un paseo en la superficie de la roca. Naquane, Val Camonica, Italia. Foto: Håkan Karlsson



Imagen 7 |

En Bhimbetka (India) la puesta en escena de las obras se acompaña con esculturas contemporáneas. Foto: Nagarjun Kandukuru (<https://www.flickr.com/photos/nagarjun/>)

puesta en escena como en los contenidos de las señales informativas. A pesar de ello, en estos sitios hallamos aberturas en lo que respecta al acceso físico e imaginario del público, algo que potencia positivamente la experiencia de este último con el arte rupestre. El stage en Naquane y Bhimbetka ofrece ciertas posibilidades para que los visitantes se acerquen al arte rupestre de un modo natural y en conexión con su contexto histórico. Por ejemplo, en Naquane es posible caminar descalzo, incluso en algunas superficies con arte rupestre, lo que hace de este lugar un espacio único en comparación con los otros sitios analizados. Por otro lado, Bhimbetka tiene de especial que la puesta en escena de las obras y espacios rupestres incluye un fenómeno que no hemos observado en ninguno de los otros lugares visitados: las pinturas están acompañadas de otro tipo de arte. Nos referimos a las esculturas de una familia, hechas en nuestro tiempo, donde la madre y el niño, en medio de su actividad cotidiana, parecen contemplar al padre en el proceso de producción de una pintura rupestre. A pesar de que dichas esculturas no se corresponden ni en tiempo ni en tipo con el arte allí exhibido, las piezas fueron incorporadas a esta escenografía admitiendo la interacción del arte prehistórico con las concepciones, materiales y técnicas, de los grupos humanos del presente.

En lo que concierne al acceso imaginario, la principal fuente de información de los sitios de este grupo son las señales informativas. Al igual que en el grupo anterior, los contenidos de los letreros hacen hincapié en la singularidad e importancia de los sitios y en el hecho de que los mismos están bajo protección jurídica. Sin embargo en Bhimbetka y Naquane los anuncios no alarman al público sobre los posibles riesgos que corren las obras de arte rupestre, característica que marca una diferencia entre los sitios de este grupo y los clasificados en el grupo anterior.

Otra divergencia importante de este grupo respecto al anterior es que, a pesar de que en estos sitios persisten las redacciones de tipo científico, llama la atención que en Naquane los avisos informativos rompen parcialmente con dicha tendencia e incluyen en sus contenidos información ambigua que deja espacio a los espectadores a dudas y preguntas respecto a las obras y al sitio en general.

Así, en Naquane coexiste una mezcla entre un discurso sólido-científico con uno abierto-reflexivo. Algo similar ocurre en Bhimbetka, puesto que también se mezcla el discurso científico con otro no científico. En este caso los avisos informativos están presentados en un estilo pedagógico que acerca el conocimiento científico sobre el arte rupestre a los espectadores. Las señales contienen ilustraciones, establecen paralelismos entre la prehistoria y la historia contemporánea, explican de un modo sencillo los distintos estilos, clasificaciones y técnicas existentes en el arte rupestre, y presentan los sitios

prehistóricos como lugares producidos por la historia y la cultura. Por lo tanto, incluso si en Bhimbetka la señalética no deja espacio para dudas o ambigüedades, la redacción pedagógica de los textos y la cierta contextualización de los mismos hacen de este sitio un caso intermedio interesante.

En cuanto a la relación temporal entre los restos rupestres con las etapas históricas posteriores, los sitios incluidos en este grupo destacan porque en estos lugares se hizo hincapié en que las superficies habían sido utilizadas por otros grupos humanos para la producción de grabados y pinturas, desde el periodo Paleolítico hasta la Edad Media. Los usos y marcas dejadas en los lugares rupestres por diversos grupos a lo largo de la historia se presentan como un hecho valioso. Así, en estos lugares se introduce la idea de una temporalidad más larga, que abarca desde la prehistoria hasta el medievo.

En Bhimbetka y Naquane, aunque no se declare, opera implícitamente un concepto de autenticidad no tradicional. Un concepto que admite una vida relativamente extensa y continua del patrimonio, y la interacción del mismo con grupos humanos distintos a los de los autores originales de los materiales, sin considerar por ello a estos últimos seudomateriales, carentes de la dosis suficiente de autenticidad para reconocerlos efectivamente como artificios rupestres genuinos. Aunque en Naquane y Bhimbetka aún se manifiestan las tensiones entre el pasado y el presente, entre la preservación de las obras rupestres y el acceso del público a las mismas, y entre el discurso de los “expertos” y los discursos del público, ocurre que en ambos sitios tales dicotomías no son tan fuertes como sí lo son en los sitios clasificados en el grupo de casos duros.

Consecuencia de lo anterior es que en Bhimbetka y Naquane los espectadores se animan a reflexionar y a expresar sus opiniones sobre las obras rupestres y construyen una relación significativa con ellas. Advertimos que el público, bajo este rol, encuentra estímulos para seguir aprendiendo y reflexionando sobre los materiales prehistóricos. Por lo tanto, en Bhimbetka y Naquane observamos una cierta ampliación del concepto de autenticidad, que se corresponde en la práctica en un grado moderado con las sugerencias del Documento de Nara y la Carta de Ename. Este avance relativo se ve plasmado, por un lado, en el tratamiento temporal más elástico de los materiales rupestres, admitiendo una existencia parcialmente extensa en los mismos y en conexión limitada con algunas etapas históricas posteriores a su periodo de creación y, por otro, dicho avance gradual se materializa en el rol medianamente activo del espectador frente a los materiales rupestres, situación generada por las aperturas progresivas, pero aún delimitadas, del stage y el discurso ofrecido en los lugares de este grupo.

Los casos blandos

Este grupo lo integran los sitios de la Sierra de San Francisco, Kondoa y Ubirr. Al igual que en los anteriores, en éstos pervive una materialización tradicional del concepto de autenticidad. A pesar de ello, son estos tres lugares los que tienen mayor posibilidad de proporcionar una apertura hacia una idea renovada de la autenticidad. A través de nuestros dos criterios de estudio (puesta en escena y señales informativas) notamos que en Sierra de San Francisco, Kondoa y Ubirr las relaciones en la triada arte rupestre–espectador–especialistas presentan cambios que socavan el concepto ordinario de autenticidad aplicado a los materiales prehistóricos y lo aproximan hacia una idea postmoderna del mismo.

La puesta en escena en Sierra de San Francisco y Ubirr propone una relación física indirecta en la que se distancian las obras de los visitantes a través de cables, cercas y otros artefactos citados más arriba. En este sentido Sierra de San Francisco y Ubirr se aproximan a la mayoría de los lugares anteriores, en los cuales el stage propicia una situación de división entre las obras rupestres y el público. Sin embargo, si bien es cierto que en ellos el acceso físico a las obras rupestres preserva la idea clásica de autenticidad, en la que los materiales prehistóricos son tratados como cosas genuinas, sin contacto ni intervención distinta a la de sus creadores originales. También es cierto que en estos dos sitios, en lo que refiere al acceso imaginario del espectador a la obra, dicha relación es mucho más progresiva y responde a una idea renovada de la autenticidad, la cual desarrollaremos más adelante, cuando presentemos nuestras observaciones sobre las señales informativas existentes en estos lugares.

Contrariamente a lo que ocurre en la Sierra de San Francisco y Ubirr, la puesta en escena en Kondoa representa un caso extraordinario, puesto que es el único lugar entre los visitados en el que los espacios y objetos rupestres están libres de artefactos que distancien al espectador de los artificios. En Kondoa el stage invita al público a entrar en contacto físico con los materiales, a palparlos, y, por lo tanto, a establecer relaciones de tipo cognitivo y emocional, entre otras, con el pasado, en el marco de una situación sensorial más amplia. No exclusivamente bajo un formato contemplativo, en el cual las obras rupestres son presentadas a los espectadores como entidades inaccesibles a los sentidos (incluso al sentido de la vista, como ocurre en los casos extremos en los que el arte rupestre está oculto a los ojos del espectador) que no permiten más que la mera contemplación. En este sentido Kondoa representa un caso pionero y encarna la idea renovada de la autenticidad en la práctica en los sitios de patrimonio mundial sugerida en el *Documento de Nara* y la *Carta de Ename*.

En cuanto al acceso imaginario del público a los restos rupestres, la principal fuente de información en la Sierra de San Francisco y Ubirr son las señales informativas; y en el caso de Kondoa la fuente principal de información son los guías, ya que éste es el único lugar de los sitios estudiados sin señalética. En los tres sitios la información presentada, bien en las mesas o por los guías, hace hincapié en la singularidad y protección jurídica de los lugares de patrimonio, pero no en las amenazas que afrontan estos últimos, con excepción de Ubirr, donde la información contenida en los avisos informativos transmite mensajes sobre los posibles riesgos que amenazan a las obras rupestres, tal como en los sitios ubicados en el grupo de los casos que hemos denominado duros.

La información ofrecida en la Sierra de San Francisco (en las señales informativas) y Kondoa (a través de los guías) sobre los espacios y objetos rupestres difiere de todos los casos anteriores, en cuanto que los contenidos transmitidos admiten la existencia de ambigüedades y de preguntas no resueltas.

Particularmente los contenidos de las mesas informativas de la Sierra de San Francisco están escritos en un lenguaje abierto, de ningún modo responden a construcciones de conocimiento cerradas y terminadas, como suele ocurrir en estos contextos; los avisos están redactados con un inusual punto de vista honesto, rara vez visto en el ámbito arqueológico profesional. Por otro lado, en el caso de Ubirr la información transmitida mantiene la conexión con el discurso estándar científico en tanto que es presentada de un modo certero, seguro, que parece no dejar espacio a dudas e incertidumbres. Pero Ubirr tiene de particular que las narraciones en torno a los materiales rupestres están influenciadas por las historias y vivencias de las culturas originarias del lugar. Por lo tanto, la información presentada a los visitantes contiene, además de la mirada científico-profesional, otro tipo de conocimiento, de tipo ancestral, basado en los relatos, memorias y prácticas de los pueblos nativos. También en Ubirr llama la atención que los poseedores del discurso sobre los artificios prehistóricos no son exclusivamente los “expertos”, los arqueólogos profesionales, en los cuales se encarna el discurso y la actitud científica que conduce a la transmisión de un conocimiento sólido, excesivamente confiado en sí, que olvida los enigmas y preguntas que aún rodean el pasado prehistórico, sino que en Ubirr el discurso sobre los materiales rupestres es compartido por los profesionales en arqueología y los grupos aborígenes. Y esta situación especial ofrece a los espectadores que visitan el sitio la oportunidad de entablar una comunicación directa con la tradición nativa, y su visión del mundo, que ha habitado este sitio aproximadamente durante 20 siglos y, por lo tanto, experimentar un discurso y actitud distintos a los acostumbrados en los sitios de patrimonio mundial.



Imagen 8 |
 Sacrificio ritual. Kondo, Tanzania. Foto: Håkan Karlsson

El manejo de la idea del tiempo es otro de los factores que acerca a los sitios de este grupo. En el sitio de la Sierra de San Francisco es relevante resaltar la información proporcionada a los visitantes acerca del uso de los lugares rupestres por otras sociedades del pasado. Tal es el caso, por ejemplo, de la intervención de la iglesia católica, con símbolos religiosos pintados en rocas contiguas a las pinturas rupestres. En los caso de Ubirr y Kondo es interesante que la visión tradicional sobre el concepto de autenticidad de los materiales, en la cual las piezas rupestres son encarceladas en el pasado como reliquias muertas y exhibidas como artículos exclusivos en los sitios de patrimonio mundial, se rompe puesto que las piezas y espacios rupestres son usados para realizar ceremonias o ritos, tanto por la sociedad contemporánea de agricultores locales en Kondo, como por los grupos aborígenes en Ubirr. Por lo tanto, en estos dos sitios no sólo los espectadores desempeñan un papel activo, sino también los lugares mismos. Los artificios y espacios rupestres en estos lugares no son tratados como entidades residuales del pasado, prácticamente agónicas y sin función alguna en el presente.

Por el contrario, en Kondo y Ubirr, los objetos se mantienen vivos y dicha vida se expresa a través de la conservación del poder de influencia de los mismos sobre el contexto externo. Así, por ejemplo en Kondo, los campesinos realizan ceremonias en torno a la fertilidad para asegurar la bonanza de sus cosechas. Y las tribus aborígenes en Ubirr realizan rituales secretos a favor de su pueblo. De este modo Kondo y Ubirr aparecen como casos pioneros dentro de los ocho sitios estudiados en lo que refiere al manejo de la temporalidad de los materiales, puesto que los artefactos en estos lugares poseen una vida extensa y sin fractura histórica, mucho más amplia que la aceptada en Naquane, Bhimbetka y la Sierra de San Francisco, y sin duda alguna, mucho más amplia que la aceptada en Tanum, Cueva de las Manos y Altamira. En Kondo y Ubirr, aunque no se mencione explícitamente, se promueve una noción de autenticidad que mantiene el flujo histórico entre los grupos del pasado con las culturas que habitan o circundan estos sitios en el presente. Por lo tanto, en estos dos sitios las dicotomías que giran en torno a las relaciones entre el arte rupestre, los espectadores y los administradores del patrimonio, son mucho más tenues en comparación con los sitios anteriores, y se resuelven de modos distintos a los usualmente asumidos por las entidades que profesan una visión convencional sobre estos asuntos.

El discurso abierto de forma franca en la señalética de la Sierra de San Francisco y las prácticas no convencionales en Kondo y Ubirr conducen a que el público de estos lugares, además de reflexionar y manifestar sus ideas sobre el arte rupestre, entable una relación más activa con los artefactos, tal y como ocurre en los sitios de los casos medios.

En la Sierra de San Francisco, la sustitución de la retórica científica por otra sorprendente y abierta, que reconoce dudas y vacíos respecto del conocimiento objetivo de los materiales prehistóricos, que ha eliminado las barreras formadas por los argumentos de autoridad profesional que intimidan y contienen las opiniones y visiones de los visitantes y la invitación a reavivar los objetos del pasado para que puedan ser aprehendidos por las sociedades del presente, es completamente loable. Sin dichas barreras epistemológicas, el espectador, a un nivel creativo, imaginario, tiene licencia para iniciar su proceso especulativo y emprender sus propias investigaciones, auxiliado por su conjunto de saberes culturales, profesionales, y, por supuesto, apelando también al saber de las ciencias positivas, pero no sólo a éste, para resolver los enigmas que circundan aún a los materiales prehistóricos.

Y lo mismo ocurre en Kondo y Ubirr, tal como se plantea teóricamente en los diversos debates en torno a la actualización de la noción de autenticidad de los materiales. En Kondo los visitantes son invitados no sólo a pensar libremente sobre los artificios sino a vivenciarlos y a realizar acciones distintas a la puramente contemplativa. El visitante, además de observar, puede entrar en contacto con las obras y abandonar con ello la postura científica de observador analítico que lo separa de estas últimas, convirtiéndolo a él en sujeto de conocimiento, y a las obras en sus objetos de estudio. El espectador puede retornar a la obra y unirse a ella. En Ubirr ocurre que, tras el papel de representación encargado no sólo a los profesionales en arqueología sino también a los grupos aborígenes, el espectador aprehende un discurso y actitud distintos a los experimentados normalmente en los sitios de patrimonio mundial. Porque el pensamiento y la praxis de los nativos combate el formato tradicional que convierte tanto a los artificios rupestres como a los espectadores en agentes pasivos, liberándolos a ambos a través de sus narraciones y prácticas ancestrales.

Así, tras esta liberación del discurso, el uso de los materiales, y la influencia aún viva de los artefactos y espacios rupestres sobre el mundo externo, los visitantes de los sitios de este grupo son invitados a hacer uso de su cultura material, a ser parte activa del proceso histórico-cultural en compañía de los materiales prehistóricos e, incluso, en asociación implícita con los representantes de los sitios de patrimonio. Por lo tanto, en estos sitios reconocemos una idea de autenticidad progresiva, que contribuye a la liberación de la relación de la triada espectador–arte rupestre–especialistas, y a sus tensiones inherentes. En esta medida, en Ubirr, Kondo y Sierra de San Francisco, la implementación de una idea postmoderna de autenticidad, tal y como la exponen el Documento de Nara y la Carta de Ename, es un proyecto mucho más factible que en aquellos sitios de patrimonio mundial en los cuales su comprensión, dando vueltas a la idea de autenticidad de los materiales, está aún sujeta a las viejas convicciones.

CONCLUSIÓN. HACIA UNA ACTITUD RENOVADA

En la introducción destacábamos que teníamos la intención de, por una parte, indagar cómo el concepto de autenticidad se materializaba en ocho sitios con arte rupestre, clasificados como patrimonio mundial y, por otra, discutir los modos en los que la autenticidad había sido entendida en la relación con los restos materiales y las entidades patrimoniales, así como explicar de qué forma este concepto se podía redefinir de un modo constructivo.

Como conclusión, y una vez realizado este trabajo, podemos extraer tres ideas esenciales:

> En primer lugar es evidente que, a nivel general, en la mayoría de los sitios analizados domina una concepción tradicional de la idea de autenticidad, que se hace visible en los límites al acceso físico e imaginario del público al arte rupestre. Es el caso de Altamira, la Cueva de las Manos y Tanum, y, en menor grado, de Bhimbetka y Naquane.

> En segundo lugar, podemos destacar que de los ocho sitios estudiados sólo un número reducido de ellos ha implementado de un modo avanzado algunas de las recomendaciones concernientes a la idea de autenticidad sugeridas en el Documento de Nara y en la Carta de Ename. Estos sitios son la Sierra de San Francisco, Kondoa y Ubirr.

> Y, por último, resaltamos el tratamiento no convencional del concepto de autenticidad en Kondoa y Ubirr, donde dicho concepto ha sido relativizado en la práctica a través del uso y participación activa de las poblaciones originarias que han habitado y habitan esos lugares.

Tras las visitas realizadas creemos que es posible materializar la idea renovada de la autenticidad en los sitios de patrimonio mundial y trazar un camino constructivo entre la mirada tradicional y la actual. Dicho camino intermedio no tiene por qué conducirnos necesariamente a un subjetivismo reforzado que aniquile los materiales, dejando de éstos únicamente las proyecciones mentales humanas. Pero deberá superar la posición objetivista que mantiene a los artefactos presos en el pasado y en la solidez de sus cuerpos. Pensemos, por ejemplo, en el arte rupestre: tiene un efecto en la historia, construido a través de la participación en la visión del mundo de los agentes a quienes se les presenta. Pero a la vez, estos agentes permean los materiales, resignificándolos a través de las distintas interpretaciones y usos de los mismos. Sin embargo, las posturas y concepciones producidas por ellos no aparecen aisladas, sino que también son producto del conjunto de saberes y perspectivas heredadas de los ancestros culturales. La descripción anterior trata de ilustrar en breve el conocido círculo hermenéutico, en el que se plantea una relación epistémica

recíproca, en la cual todos los integrantes del ciclo interpretativo están conectados y afectados entre sí, en un marco temporal que no concibe pasados puntuales y cerrados ni divorciados de la historia subsiguiente, sino un tiempo en permanente flujo y entremezclado, como quien a la vista de un ejemplo de reciclaje comprende la presencia del pasado en el presente y el futuro, y viceversa.

Siguiendo esta teoría, la interacción entre la cultura material y los significados atribuidos a la misma constituyen un horizonte de comprensión contextual que representa algo así como el plano global interpretativo en el cual tienen lugar las distintas “fusiones de horizontes”, producto de la relación interprete-artefacto-tradición cultural. Estas fusiones dadas entre los distintos agentes ocurren en un plano temporal activo, en permanente proceso. Bajo este modelo de pensamiento, los horizontes del pasado y del presente no están aislados unos de otros; al contrario. Lo que significa que, cuando nos acercamos al pasado con nuestra imagen del presente, alimentados por nuestra amalgama de pre-comprensiones engendradas por los mismos objetos con sus rellenos y alimentados por las ideas contextuales propias de nuestra época y las heredadas de la historia, no nos reunimos con algo que nos es extraño y antiguo, sino que nos reunimos con los tiempos y las cosas que influyen en nuestro horizonte interpretativo y contribuyen a nuestra pre-comprensión de los artefactos.

Bajo este razonamiento, la autenticidad de los materiales del pasado no es posible determinarla a partir de una fase de tiempo específica ni atarla a un acto interpretativo particular ni a la naturaleza intrínseca del objeto. La autenticidad, considerada de este modo, es el resultado de la mezcla de los componentes tangibles e intangibles de los materiales y de la interacción temporal entre el pasado, el presente y el futuro.

Creemos que una perspectiva enraizada en la línea de pensamiento hermenéutico, que nos aleja de los radicalismos y nos aproxima a una postura conciliadora de fusión de horizontes basada en la correlación activa y permanente entre los materiales, los individuos y la historia, contribuye a la resolución de las dicotomías que hemos visto y tratado a lo largo de este texto. Esta perspectiva contribuye a la materialización del proyecto de renovación de la idea de autenticidad en los sitios de patrimonio mundial, lo que coadyuvará al éxito futuro de la implementación de documentos políticos clave como la Carta de Ename y el Documento de Nara, entre otros; y contribuye finalmente a la democratización del patrimonio cultural en la sociedad contemporánea, mediante la combinación de la flexibilización y ampliación de los discursos, concepciones y posturas adoptadas por la comunidad científica y profesional encargada de la administración y definición ontológica de los materiales, con la fijación del rol intelectual y activo de los visitantes dentro de los espacios y artefactos del pasado.

Agradecimientos

Nos gustaría agradecer en primer lugar a Marisol Sanchez, la ayuda que nos prestó con el español y con diferentes pensamientos filosóficos. En el segundo lugar a Felipe Criado-Boado y David Barreiro que, de diferentes maneras, nos han ayudado a mejorar el texto tanto en términos de lenguaje como de contenido, y que nos animaron a publicar el texto en español. A pesar de este apoyo, somos plenamente responsables del contenido y las opiniones presentadas en este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

ANATI, E. (2004)

La civiltà delle pietre. Capo di Ponte: Edizioni del Centro, 2004

BARREIRO, D.; CRIADO-BOADO, F. (2015)

Analizando el valor social de Altamira. *Revista PH* [en línea] n.º 87, abril, 2015. <<http://www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/articler/view/3559>> [Consulta: 11/11/2015]

BERTILSSON, U. (1994)

Hällristningsvård: konsumtion eller bevarande. *Kulturminjövård*, 2-3/94, 1994, pp. 10-16

EDGEWORTH, M. (2003)

Acts of Discovery: An Ethnography of Archaeological Practice. Oxford: Archaeopress, 2003 (BAR International Series; 1131)

EDGEWORTH, M. (ed.) (2006)

Ethnographies of Archaeological Practice: Cultural Encounters, Material Transformations. [Oxford]: AltaMira Press, 2006 (Worlds of Archaeology)

FENÁNDEZ-SANTOS, E. (2014)

Un "experimento" reabre Altamira. *El País* [en línea] 19 de enero de 2014 <http://cultura.elpais.com/cultura/2014/01/18/actualidad/1390057001_151020.html> [Consulta: 11/11/2015]

GUSTAFSSON, A.; KARLSSON, H. (2004a)

Solid as a Rock? An Ethnographical Study of the Management of Rock-carvings. *Current Swedish Archaeology*, vol. 12, 2004, pp. 23-42

GUSTAFSSON, A.; KARLSSON, H. (2004b)

Minotaurus återkomst och eventuella tämjande. En reflektion runt kulturarvsförvaltning, publik och iscensättandet av fasta fornlämningar. *Arkeologen*, vol. 1, 2004, pp. 16-32

GUSTAFSSON, A.; KARLSSON, H. (2004c)

Plats på scen. Kring beskrivning och förmedling av Bohusläns fasta fornlämningar genom tiderna. Uddevalla: Bohusläns Museum. *Kulturhistoriska dokumentation*, n.º 17, 2004

GUSTAFSSON, A.; KARLSSON, H. (2004d)

Kulturarv som samhälls-dialog? En betraktelse av kulturarvsförmedling. Stockholm: Riksantikvarieämbetet, 2004

GUSTAFSSON, A.; KARLSSON, H. (2006)

Among Totem Poles and Clan Power in Tanum, Sweden. An Ethnographic Perspective on Communicative Artifacts of Heritage Management. En EDGEWORTH, M. (ed.) *Ethnographies of Archaeological Practice. Cultural encounters, material transformations*. Lanham: Altamira Press, 2006, pp. 137-147

GUSTAFSSON, A.; KARLSSON, H. (2008)

Places of power. Control, public access and authenticity at rock carvings in Tanum, Sweden and Valcamonica, Italy. *Public Archaeology*, vol. 7, n.º 3, 2008, pp. 174-198

GUSTAFSSON, A.; KARLSSON, H. (2012)

Changing of the guards. En CARMAN, J.; MCDAVID, C.; SKEATES, R. (eds.) *The Oxford Handbook of Public Archaeology*. Oxford: Oxford University Press, 2012, pp. 478-95

GUTIÉRREZ, M. L.; HAMBLETON, J. R.; HYLAND, J. et ál. (1996)

The Management of World Heritage sites in remote areas. The Sierra de San Francisco. B.C.S, Mexico. *Conservation and Management of Archaeological Sites*, vol. 1, n.º 4, 1996, pp. 209-225

HARRISON, R. (2012)

Heritage: Critical Approaches. New York: Routledge, 2012

HILL, M.; PRESS, A. (1994)

Kakadu National Park: An Australian experience in comanagement. En WESTERN, D.; WRIGHT, M. (eds.) *Natural Connections: Perspectives in Community-based Conservation*. Washington DC: Island Press, 1994, pp. 135-137

HOLTORF, C. (2005)

From Stonehenge to Las Vegas. Archaeology as popular culture. Lanham: Altamira Press, 2005

HOLTORF, C. (2013)

On Pastness. A Reconsideration of Materiality in Archaeological Object Authenticity. *Anthropological Quarterly*, vol. 86, n.º 2, pp. 427-444

HOLTORF, C.; SCHADLA-HALL, T. (1999)

Age as Artefact. On Archaeological Authenticity. *European Journal of Archaeology*, vol. 2, 1999, pp. 229-47

HUSAIN, T.; DATT, B. (2005)

Bhimbetka. A Newly Declared World Heritage Site. *Current Science*, 88(3), 2005, 334

ICOMOS (2007)

Carta ICOMOS para Interpretación y presentación de sitios de patrimonio cultural [en línea]. Borrador final propuesto. 10 de abril de 2007 <http://www.enamecharter.org/downloads/ICOMOS_Carta_Interpretacion_ES.pdf> [Consulta: 11/11/2015]

JOKILEHTO, J. (1995)

Authenticity: a General Framework for the Concept. En LARSEN, K. E. (ed.) *Nara Conference on Authenticity. Japan 1994. Proceedings*. Trondheim: Tapir Publishers, 1995, pp. 17-34

JONES, S. (2010)

Negotiating Authentic Objects and Authentic Selves Beyond the Deconstruction of Authenticity. *Journal of Material Culture*, vol. 15:2, pp. 181-203

LARSEN, K. E. (ed.) (1995)

Nara Conference on Authenticity. Japan 1994. Proceedings. Trondheim: Tapir Publishers, 1995

LEA, D.; WEBB, A.; GRAHAM A. (eds.) (1995)

Kakadu: Natural and Cultural Heritage and Management. Darwin: Parks Australia and North Australia Research Unit, 1995

LOWENTHAL, D. (1985)

The Past is a Foreign Country. Cambridge: Cambridge University Press, 1985

LOWENTHAL, D. (1995)

Changing Criteria of Authenticity. En LARSEN, K. E. (ed.) *Nara Conference on Authenticity. Japan 1994. Proceedings*. Trondheim: Tapir Publishers, 1995, pp. 121-135

LOWENTHAL, D. (1997)

The Heritage Crusade and the Spoils of History. London: Viking, 1997

MASAO, F. (1982)

The Rock Art of Kondoa and Singida. A Comparative Description. National Museum of Tanzania, Dar es Salaam. *Occasional Paper*, n.º 5, 1982

ONETTO, M. (2001)

Conservación y manejo de un sitio del Patrimonio Mundial: Cueva de las Manos, Río Pinturas, Argentina. *Arqueología* 11, 2001, pp. 203-44

ONETTO, M.; CASSIODORO, G.; COLOMBO, M. et ál. (2010)

Imaginátelo en vivo. Patrimonio en acción y arqueología "todo terreno" en Cueva de las Manos, Santa Cruz. *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano*, 22, 2008/2010, pp. 145-154

VICENTE GARCÍA, J. M.; MARTÍNEZ NAVARRETE, M.^a I.; CHAPA BRUNET, T. (2014)

Altamira: ¿ciencia o 'marketing'? *El País* [en línea] 9 de marzo de 2014 <http://elpais.com/elpais/2014/03/08/opinion/1394295769_969712.html> [Consulta: 11/11/2015]

SHANKS, M. (1998)

The life of an Artefact in an Interpretive Archaeology. *Fennoscandia Archaeologica*, vol. 15, 1998, pp. 15-42

STOVEL, H. (2007)

Effective use of authenticity and integrity as world heritage qualifying conditions. *City & Time* [en línea], 2:3. 3 <<http://www.ceci-br.org/novo/revista/viewissue.php?id=7>> [Consulta: 30/11/2015]

UNESCO (1994)

Convention Concerning the Protection of The World Cultural and Natural Heritage. World Heritage Committee. Eighteenth session (Phuket, Thailand, 12-17 December 1994). Information note: Nara Document on Authenticity [en línea]. Experts meeting, 1-6 November 1994 <<http://whc.unesco.org/archive/nara94.htm>> [Consulta: 28/11/2015]

El proceso creativo y la estructuración estratigráfica como señas de identidad y autenticidad. La pequeña *Madonna di Foligno* de Rafael, como caso de estudio

Luis Rodrigo Rodríguez Simón **01**

El artículo persigue relacionar la estructuración estratigráfica de una pintura con su proceso creativo, con la finalidad de plantear la secuencia interna y la mezcla, disposición y localización de pigmentos como señas de identidad del proceder artístico del pintor. La observación microscópica de las secuencias estratigráficas junto al microanálisis de pigmentos asociado a microscopía electrónica de barrido, constituyen dos herramientas que han permitido no solo la caracterización de los pigmentos, sino también de su distribución y localización en la estructuración interna de la obra. Datos muy valiosos para estudios relacionados con la atribución de obras. Estas técnicas se han ensayado sobre una nueva versión, de menores dimensiones, de la conocida *Madonna de Foligno* de Rafael, exhibida en la Pinacoteca Vaticana, obteniéndose datos relacionados con el proceder artístico de este pintor. La estructuración estratigráfica pone de manifiesto la consecución de los colores definitivos a través de la incorporación sucesiva de capas, para obtener modulaciones tonales mediante superposición de planos de color. En las estratigrafías se observan también las primeras manchas coloreadas aplicadas a modo de grisalla y realizadas con pintura diluida con mucho aglutinante. Ambos procesos son característicos del método de trabajo propio de Rafael.

Palabras clave

Autenticidad | Estratigrafía | Blanco de plomo | Imprimación | Microscopía electrónica | Pigmentos | Preparación | Raffaello (1483-1520) | Transposición de soporte |

Creative process and stratigraphic structure as identity and authenticity signs. Case study of the small *Madonna di Foligno* by Raphael

Luis Rodrigo Rodríguez Simón **01**

The aim of this article is to link the stratigraphic structuring of a painting with the creative process followed by the author in producing the work, in order to outline the internal sequence and the mixture, arrangement and location of pigments as hallmarks of the painter's artistic process. These data may provide invaluable information in the study of compositions whose authorship is uncertain. In this context, microscopic observation of the stratigraphic sequences, together with the microanalysis of pigments and the use of the scanning electron microscope, are two tools that have enabled not only the identification of the pigments existing within the painting, but also the determination of their distribution and location within the internal structure of the work. These techniques have been tested on a new, smaller version of the famous *Madonna of Foligno* by Raphael, on display at the Vatican art gallery, with very significant data relating to the artistic process of this painter being obtained. The stratigraphic structuring shows that the final colours were achieved through the successive incorporation of layers to create tonal modulations by superimposing planes of colour. The stratigraphic study also shows the first patches of colour applied using grisaille, with very diluted paint and a lot of binder. Both processes are characteristic of Raphael's particular working method.

Keywords

Authenticity | Stratigraphic | White lead | Priming | Electron microscope | Pigments | Preparation | Raffaello (1483-1520) | Transposition support |

URL de la contribución <<http://www.iaph.es/phinvestigacion/index.php/phinvestigacion/article/view/112>>

01 Dpto. de Pintura, Facultad de Bellas Artes, Universidad de Granada

INTRODUCCIÓN

El estudio que aquí se presenta forma parte del conjunto de exámenes de superficie y métodos de análisis que se han utilizado para realizar la investigación sobre una nueva versión, de menores dimensiones, de la conocida *Madonna di Foligno* de Rafael, exhibida en la Pinacoteca Vaticana, tales como: radiografía; reflectografía infrarroja; iluminación ultravioleta; macrofotografía; estratigrafías; microanálisis de pigmentos por SEM-EDX; espectrometría Raman; espectrofotometría; y escaneado en 3D.

Para este trabajo hemos seleccionado la información obtenida a partir de la interpretación de las distintas capas que, a nivel interno, constituyen la estructuración íntima de la composición ya que, siendo inapreciables visualmente, son responsables de la calidad estética de la obra, dado que influyen notablemente en el resultado final y ponen de manifiesto las características técnicas y los recursos plásticos empleados por el pintor en la génesis de la misma.

Para ello hemos partido de la observación e interpretación de las correspondientes estratigrafías mediante microscopía óptica, complementando y comparando las imágenes visualizadas a partir de esta técnica, utilizando iluminación normal, por una parte, y lámparas ultravioleta, por otra.

Estos aspectos, sumados a los obtenidos por medio de otras técnicas, pueden aportar datos que ayuden a la atribución de la pintura, no tenidos en cuenta, generalmente, por parte de muchos especialistas que se limitan a realizar un examen a nivel superficial.

La identificación de los pigmentos presentes en una pintura mediante técnicas instrumentales, como la microscopía analítica, resulta esencial para determinar la autenticación cronológica de la obra y su pertenencia a un periodo artístico determinado, que debe ser coincidente con la época en la que vivió su autor, ya reconocido por la historiografía, o al que se pretende atribuir.

En este contexto, la microscopía electrónica de barrido junto al microanálisis por energía dispersiva de rayos X permite la caracterización, localización y porcentajes relativos de los pigmentos en el conjunto de la estructuración interna de la pintura, tanto mayoritariamente, como aquellos con una presencia minoritaria y otros de tonalidades similares, difíciles de distinguir con microscopía óptica. Del mismo modo ocurre con los posibles pigmentos anacrónicos, aplicados posteriormente en intervenciones de conservación, retoques por cambios de gusto o en restauraciones más profundas, como en el caso de las transposiciones de soporte.



La utilización de estas técnicas instrumentales de gran alcance como herramientas analíticas se ha ensayado sobre una versión de la *Madonna di Foligno* de Rafael¹ (imagen 1), obteniéndose información muy importante sobre su proceso creativo, deducido a partir de la interpretación estratigráfica, que ha sido relevante, junto a otros datos obtenidos a partir de otras técnicas de examen, para su atribución al pintor de Urbino.

Con ligeras variantes, reproduce un asunto similar al de la conocida *Madonna di Foligno*², siendo coincidentes en ambas determinados recursos pictóricos, propios de Rafael, así como la transposición efectuada desde sus soportes originales en tabla a otros nuevos en lienzo, intervenciones que fueron realizadas en Francia durante el siglo XIX.

Imagen 1 |

Fotografía general con iluminación normal de la pintura titulada *Madonna di Foligno* pequeña. Foto: Luis Rodrigo Rodríguez Simón

1

Las dimensiones de esta pintura son: 93,5x66,5 cm.

2

Las dimensiones de esta pintura de la Pínavoteca Vaticana son: 301x198 cm.

3

En 1799 Napoleón se llevó esta pintura a París desde Roma por el Tratado de Tolentino. Allí, entre mayo de 1800 y diciembre de 1801, el cuadro fue trasladado por Hacquin desde su panel de madera a un nuevo soporte en lienzo y restaurado por Roser de Heidelberg.

4

Jean-Louis Hacquin dirigía un taller de restauración en París en el siglo XVIII, y al parecer transfirió muchas obras de la colección real francesa, razón por la que posiblemente se le encargara la transposición de la *Santa Cecilia* de Rafael y también la de la conocida *Madonna di Foligno*. El taller continuó después de la muerte de Hacquin dirigido por su hijo François-Toussaint Hacquin. El procedimiento llevado a cabo en las transposiciones de soporte de madera a tela fue descrito por Henry Mogford en su *Manual para la Preservación de Pinturas* (1876).

5

El número de micromuestras extraídas ha sido limitado por tratarse de una prueba microdestructiva, por lo que hay que tener en consideración la conservación de la pintura.

La transferencia de la obra de la Pinacoteca Vaticana desde su madera primigenia a otro nuevo soporte de tela³ se realizó entre los años 1800-1801 (ÉTIENNE, 2011: 14) por Hacquin⁴ (ÉMILE MÂLE, 2008: 265), que llevó a cabo también en París el cambio de soporte de otras obras de Rafael del Museo del Prado, como es el caso de *La Virgen del Pez*, *La Visitación* y *el Pasma de Sicilia*, cuando estas pinturas salieron de España en 1813 durante la invasión napoleónica (GARRIDO, 1985: 109).

Los traslados de soporte se hicieron frecuentes en Francia hacia la mitad del siglo XVIII, en donde familias enteras de artistas se dedicaron a estos trabajos, como por ejemplo los Picault, los Hacquin, los Fouque, etcétera (GARRIDO PÉREZ, 1985: 109-110).

Asimismo, el traspaso de tabla a lienzo de la pintura que nos ocupa se realizó en París en la segunda mitad del siglo XIX, como ponen de manifiesto los antiguos papeles pegados en el reverso de su bastidor. Uno de ellos aparece escrito en francés con tinta gálica en el que aparece la fecha de 16 de abril y el año de 1888; otro pertenece a la hoja escrita de un libro publicado en 1872. El tercero reproduce la letra mayúscula "R", escrita también con el mismo tipo de tinta antigua.

El objetivo de esta investigación es el de relacionar la estructuración estratigráfica de la pintura, existente a nivel interno, con el proceso creativo deducido de la misma, con la finalidad de discernir aquellos recursos pictóricos que sean característicos del proceder artístico del pintor y puedan considerarse como sus señas de identidad.

Para ello realizamos un estudio exhaustivo desde la preparación del soporte hasta las veladuras más superficiales, siguiendo la secuencia interna de los estratos pictóricos aplicados desde el inicio de la gestación de la obra.

También efectuamos la identificación de pigmentos y su distribución, porcentaje y localización en las distintas capas constituyentes.

METODOLOGÍA

En la metodología seguida en nuestra investigación se han utilizado técnicas instrumentales de análisis, consideradas como tecnologías muy efectivas en el reconocimiento de los materiales pictóricos y su localización en el conjunto estratigráfico; e identificación, que se realiza a partir de micromuestras⁵ extraídas de la superficie pictórica, convenientemente preparadas como secciones transversales en probetas de metacrilato.

Sobre estas estratigrafías se ha llevado a cabo un examen preliminar con microscopía óptica (Carl Zeiss, modelo Jenapol U) con dos tipos de iluminación (normal y ultravioleta), para ser, posteriormente, analizadas con microscopía electrónica de barrido SEM (Leo 1430 VP), asociada a un sistema de microanálisis elemental por energía dispersiva de rayos X (EDX- Inca 350, versión 17), con unas condiciones de adquisición de 20Kv, 50 s de tiempo vivo, obteniéndose los espectros en un rango desde 0-20KeV y con una resolución de 20ev/Ch.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La observación de las referidas estratigrafías⁶ mediante microscopía óptica y electrónica de barrido nos ha permitido determinar la estructuración interna actual de la pintura, configurada en base a una gruesa preparación de blanco de plomo, compuesta por varios estratos. Sobre ella aparecen dispuestas las diferentes capas pictóricas, cada una de las cuales ha sido elaborada con los pigmentos característicos de los colores presentes en la composición.

En este apartado resulta importante comenzar con la descripción de los lienzos que sostienen a las capas pictóricas, explicando y reflexionando sobre la presencia de la tela en una composición renacentista⁷, época en la que la madera era el material más usado como soporte en la pintura. Para continuar con el estudio de la conformación de las capas pictóricas, y con la interpretación de la mezcla de pigmentos mayoritarios y la funcionalidad de aquellos otros incorporados de forma minoritaria para matizar el colorido final, que podrían constituir señas de identidad del artista.

Los soportes de tela y la preparación de blanco de plomo

A simple vista nos encontramos con una pintura sobre lienzo que presenta un reentelado relativamente reciente. Sin embargo, es posible apreciar en los cantos que las capas de pintura han estado sustentadas por tres telas (imagen 2): la primera, sobre la que descansan los estratos pictóricos, y la contigua⁸, son telas más antiguas, aparentemente del siglo XIX; la más externa que se observa a simple vista por el reverso de la obra, es una tela actual, colocada mediante forración a la gacha en las últimas décadas del siglo XX⁹.

La preparación del primer soporte de lienzo, producto de la transposición y encargado de recibir a las capas originales de pintura, está constituida por una gruesa capa de blanco de plomo, fundamentalmente, mezclado con calcita en menor proporción. La mezcla de albayalde con calcita formando parte de los estratos de blanco de plomo aplicados en la transposición de soporte de tabla a lienzo ha sido con-

6

Del análisis de las estratigrafías se obtiene una información puntual sobre las características materiales de la obra, debido al minúsculo tamaño de las mismas, sin embargo los resultados pueden ser extrapolados a toda la composición.

7

Por sus características estéticas y compositivas deducimos que se trata de una pintura de estilo renacentista y por reproducir una composición similar a la conocida *Madonna di Foligno* de Rafael.

8

Esta segunda tela colocada en la operación de transposición de soporte en el siglo XIX fue eliminada en el último reentelado, aunque quedan restos de la misma en algunas zonas de los cantos, en donde es posible apreciar la estructura de tres telas, dos antiguas del siglo XIX y la última colocada a finales del XX, tal como se visualiza en la fotografía (imagen 2, p. 50).

9

Creemos que en esta última se eliminaron dos de las tres telas antiguas, que, posiblemente, estaban unidas con cola animal a la tela sustentante de la pintura.



Imagen 2 |

Canto de la pintura en el que se puede apreciar el doble entelado y el enlucido con blanco de plomo, que formaban parte también del proceso de transposición de tabla a lienzo

firmada por Santamaria y Morresi (2013: 93) en la *Madonna di Foligno* de la Pinacoteca Vaticana. Observada con grandes aumentos por microscopia electrónica, se detecta que está compuesta por cuatro estratos, todos ellos preparados con albayaalde, principalmente, como se ha indicado anteriormente; de forma minoritaria se han encontrado, además, otros pigmentos: óxidos de hierro rojos y negro de huesos, también cuarzo y algunos granos anecdóticos de lapislázuli y de bermellón.

Teniendo en cuenta la posible estructura del soporte con tres telas y la gruesa preparación de blanco de plomo, constituida por varias capas, podemos asegurar que esta obra fue pintada originariamente sobre tabla y trasladada a otro nuevo soporte de tela, en épocas posteriores. La base de esta discusión la constituye el hecho de que este conjunto de tres lienzos, unidos unos a otros, posiblemente por medio de cola, a los que se superpone un estrato grueso de blanco de plomo, que actúa como capa de adhesión para las películas de pintura, responde a los sistemas de transposición de soportes efectuados en el siglo XIX en Francia (GARRIDO PÉREZ, 1985: 110), y practicados sobre bastantes obras de Rafael, como la *Madonna di Foligno* (LACROIX, 1859: 220-228) y *La Coronación de la Virgen*, ambas en la Pinacoteca Vaticana; *Santa Cecilia* de la Pinacoteca Comunale de Bolonia (ÉMILE MÂLE, 1983: 215-235), *El desmayo de Sicilia* (GARRIDO PÉREZ, 1985: 121-122; GONZÁLEZ MOZO; ALONSO, 2011: 109-111); *La Visitación* del Museo del Prado, y el conocido traspaso de tabla a lienzo de *La Resurrección de Lázaro*, de Sebastiano del Piombo (DUNKERTON; HOWARD, 2009: 28-32), o el de *La Caridad* de Andrea del Sarto (ÉMILE MÂLE, 1982: 223-230).

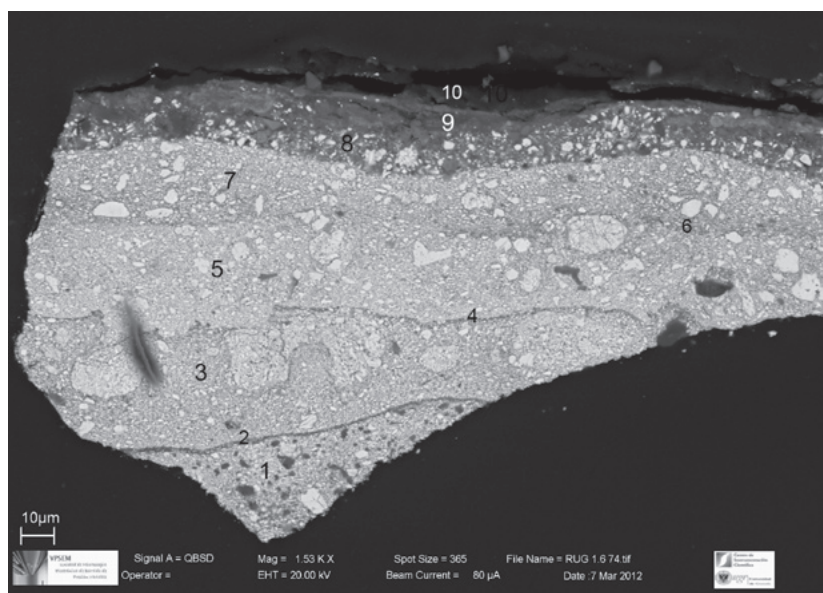


Imagen 3 |

Captura con microscopía electrónica de barrido. Sección transversal extraída del color azul de los angelotes. En ella se puede apreciar el proceso seguido en la transposición de tabla a lienzo realizado sobre la pintura en el siglo XIX en París

Realizando un estudio en profundidad de este conjunto de estratos, con los grandes aumentos que proporciona la microscopía electrónica de barrido, es posible determinar el proceso llevado a cabo en la operación de transposición de la pintura al nuevo soporte de tela. En esquema, se deduce que todo el conjunto de esta base se organiza en cuatro capas gruesas de plomo. En la más interna encontramos blanco de plomo mezclado con calcita. Sin embargo, este material de carga no aparece en la segunda y tercera capas, constituidas únicamente por el pigmento de plomo. Estas tres primeras capas internas constituirían la denominada “preparación”, y es el producto del proceso de transposición de tabla a lienzo, ya que la preparación original de yeso aplicada por Rafael fue eliminada en dicho proceso. La cuarta capa también está elaborada exclusivamente con blanco de plomo y a nivel microscópico se observa íntimamente ligada a las capas de color, por lo que consideramos que se trata de la imprimación original aplicada por Rafael (imagen 4, p. 55), también existente en otras obras de este pintor y se aplicó (por el mismo Rafael) con la finalidad de conseguir una superficie resplandeciente que no cambiara con el paso del tiempo y que confiriese una gran luminosidad cromática a la pintura (ROSSI MANARESI, 1983: 265).

Entre cada una de estas cuatro capas de blanco de plomo existen otras de naturaleza orgánica de fino espesor y color oscuro¹⁰, constituidas posiblemente por aceite y/o por material proteico, a juzgar por su alto contenido en carbono (imagen 3).

La estructura de capas, tal como ha sido descrita, podría corresponderse con la encontrada en otra obra de Rafael, traspasada a lienzo, como es *El éxtasis de Santa Cecilia*, cuyo proceso ha sido estudiado

10

Estos finos estratos de naturaleza orgánica, que actúan como zonas de separación entre las capas de blanco de plomo, probablemente fueron aplicadas para facilitar la adhesión de los diferentes estratos de albayalde y la consolidación del conjunto.

11

Posiblemente haya existido una equivocación en la identificación del óxido de plomo y se trate realmente de albayalde, como apunta Ana González Mozo.

por Rossi Manaresi (1983: 264-267), que lo describe constituido por un espeso estrato blanco perteneciente a la nueva preparación extendida en París, un sutil velo pardusco que contiene aceite mezclado con proteína, identificada con cola animal, y otra capa delgada elaborada con blanco de plomo y aglutinada con poquísimo aceite.

Este mismo procedimiento fue aplicado en la *Madonna di Foligno* de la Pinacoteca Vaticana (ROSSI MANARESI, 1990: 125-134), aunque con una diferencia, ya que el segundo estrato de las capas aplicadas para la adhesión de la superficie pictórica está constituido por óxido de plomo al óleo¹¹ (GONZÁLEZ MOZO, 2012: 118-nota 32), en vez de por carbonato básico de plomo, como ocurre en el cuadro de *Santa Cecilia* (ROSSI MANARESI, 1983: 265) y en la pintura que nos ocupa.

Teniendo en cuenta lo anterior, pensamos que este cuarto estrato de albayalde existente en la pintura, considerado como la imprimación original aplicada por Rafael durante el proceso de gestación de la obra, no fue eliminado en la operación de transposición de tabla a lienzo al destruirse la preparación original de yeso durante el proceso.

Realizamos esta reflexión a partir de la observación con microscopía electrónica de barrido, basándonos en la diferenciación morfológica que se manifiesta en la fabricación del blanco de plomo, ya que en la segunda y tercera capas es posible distinguir agrupaciones de pequeñas partículas de albayalde formando corpúsculos mayores, incluidos, a su vez, en una matriz general de plomo; estos núcleos con fracciones minúsculas en su interior han sido encontrados también en obras del siglo XVII, por ejemplo en *La Virgen del Lucero*, pintura de Alonso Cano (RODRÍGUEZ SIMÓN, 1999: 39; 2002: 155), y responden a la forma de elaboración del blanco de plomo descrita por Pacheco (1990: 483).

Sin embargo, en el cuarto estrato de plomo o imprimación no se aprecian estos grandes nódulos, razón por la que planteamos la posible diferenciación cronológica entre éste, localizado inmediatamente debajo de las capas de color y unido íntimamente a ellas, y los tres primeros, producto de la operación de transposición de tabla a lienzo.

Además, planteamos que los tres primeros estratos son de diferente época que el cuarto, teniendo en cuenta que entre todos ellos existe una fina capa orgánica de separación, de color más oscuro, que no existe entre la última capa de blanco de plomo y las capas pictóricas originales.

Para justificar la posible originalidad de este cuarto estrato de albayalde, o imprimación aplicada por el propio Rafael, nos basamos en la visualización de muchos de los trazos del dibujo subyacente con

reflectografía infrarroja¹² (GONZÁLEZ MOZO, 2012: 323), que no se hubieran detectado si dicha capa de blanco de plomo hubiese sido eliminada durante el desarrollo de cambio de soporte.

La conservación del dibujo subyacente, al parecer, fue una preocupación para los restauradores franceses en las tareas de transposición de soporte, ya que en el informe publicado sobre el cambio de base que se realizó en el Museo del Louvre entre 1801-1802 a la *Madonna di Foligno*, de la Pinacoteca Vaticana, Hacquin precisa que “el esbozo de Rafael se ha descubierto completamente y se ha dejado intacto” (GONZÁLEZ MOZO; ALONSO, 2011: 110).

La reflectografía infrarroja ha arrojado información muy importante sobre el proceso creativo seguido por Rafael en la génesis de la pintura, al desvelar un dibujo subyacente nítido de trazo fino y de tipo silueteado, en el que se ha detectado una combinación de técnicas distintas en el diseño interior de la pintura, como la piedra negra y el carboncillo, por una parte, y perfiles formalizados a pincel, por otra; esta mezcla de materiales gráficos existentes en el dibujo subyacente es bastante frecuente en la obra de Rafael (FALCUCCI, 2008: 16). Además los infrarrojos han puesto de manifiesto la existencia de unas numeraciones subyacentes en los laterales superior y derecho y pequeñas rayitas distribuidas por todo el perímetro de la obra, señaladas, sobre la pintura ya acabada, con la finalidad de realizar un cuadrículado para la reproducción a gran escala de esta composición.

Según afirman Santamaria y Morresi (2013: 99) en la *Madonna di Foligno* vaticana se ha detectado, con la misma técnica reflectográfica, un dibujo previo realizado directamente sobre la preparación “sin la técnica del spolvero”. Al confirmar estos autores que dicha técnica de traslados de dibujos o bocetos preparatorios no ha sido utilizada en la obra del Vaticano, nos lleva a pensar en la posibilidad de que se hubiera hecho siguiendo el método de la cuadriculación, justificando la presencia de las numeraciones y rayitas en la pintura objeto de nuestro estudio.

Asimismo, la observación de la pintura con esta radiación ha permitido distinguir las primeras fases de la ejecución pictórica materializadas con pintura fluida aplicada mediante finas capas muy diluidas, que han sido detectadas también en algunas estratigrafías, como se describe más adelante. Este modelado subyacente coincide con el quehacer artístico de Rafael (GONZÁLEZ MOZO, 2012: 327), apreciándose en varias secciones transversales pertenecientes a la *Madonna di Foligno* de la Pinacoteca Vaticana, publicadas a propósito de la exposición Raffaello a Milano en 2013 (SANTAMARIA; MORRESI, 2013: 95).

La descripción detallada de los resultados obtenidos a partir de esta técnica se publicará en un futuro próximo.

12

La permanencia de estos trazos de dibujo subyacente tras el proceso de transposición de soporte pudo deberse a la existencia de estos perfiles sobre la capa de imprimación, bien por haber sido ejecutados sobre ella, o formalizados sobre la preparación de gesso, y haber sido repasados sobre aquella para reforzar algunos contornos o corregir determinados detalles (GONZÁLEZ MOZO, 2012: 323).

13

El EDX no es una técnica para identificación de materiales orgánicos, sin embargo, la laca roja ha sido caracterizada por un alto pico de carbono, otro de aluminio, producto de la utilización de la alúmina en la fabricación de la laca y por la imagen de BSE, revelando un número atómico bajo que concuerda con su composición orgánica. Además de su aspecto morfológico observado con microscopía óptica.

14

El negro de huesos ha sido caracterizado por la presencia de picos de fósforo y calcio en el espectro, que podrían corresponder al fosfato cálcico.

15

El negro orgánico ha sido caracterizado por la presencia de un alto pico de carbono, complementado con una imagen de BSE que revela un bajo número atómico, que concuerda con su composición orgánica.

Las capas pictóricas. Estructuración, identificación y localización de pigmentos

Las secciones transversales ponen de manifiesto que la estructuración interna de esta pintura se encuentra configurada por la superposición de varias capas que, en general, en las luces se aprecian luminosas, mientras que, en las zonas en sombra, se visualizan más claras en los niveles internos y se oscurecen con veladuras superficiales. Apreciándose que los colores aparecen conseguidos mediante la incorporación sucesiva de capas y no por mezcla, recurso que es considerado como un método de trabajo propio de Rafael (GONZÁLEZ MOZO, 2012: 331).

Como se aprecia en las estratigrafías de la túnica roja de la Virgen (imagen 15, p. 59) y, especialmente, en la capa magna de Segismundo de Conti (imagen 16a y 16b, p. 59), éstas se configuran basándose en múltiples estratos superpuestos, con bermellón (imagen 5) en las primeras capas y sobre ellas laca orgánica roja¹³ (imagen 6) en ligeros toques de glacis para proporcionar transparencia a los colores, tal como apunta Carmen Garrido en relación a los rojos existentes en las pinturas de Rafael en el Museo del Prado (GARRIDO PÉREZ, 1985: 127). Además de bermellón y laca roja, en nuestro caso se han caracterizado también óxidos de hierro rojos. Por otra parte, también se han identificado negro de huesos¹⁴ y/o negro orgánico¹⁵, mezclados con laca roja para oscurecer el tono y la intensidad de las veladuras. Y calcita (imagen 7) para dar cuerpo y transparencia a las lacas. Y de forma minoritaria, amarillo de plomo y estaño (imagen 8) y lapislázuli, para matizar los rojos.

En relación a la localización de las tres tintas rojizas, unas veces las encontramos mezcladas entre sí en la misma capa; en otras ocasiones aparecen estratos configurados solamente por bermellón, situados en la base del color para proporcionar luminosidad a las veladuras oscuras de la superficie; también encontramos películas superficiales con laca roja únicamente, aunque a veces matizadas con negros para intensificar la penumbra o con lapislázuli para suavizar la intensidad de los rojos.

Todas estas tintas rojizas participan con diferentes proporciones en las mezclas y son responsables de la calidad estética de estos ropajes. La elección de estos tres pigmentos, junto a su compleja elaboración en varios estratos superpuestos, de forma individual o formando mezclas, podrían constituir recursos técnicos característicos del quehacer artístico del Rafael, al igual que la matización de las tintas rojizas con amarillo de plomo y estaño en los estratos inferiores y con lapislázuli en los superiores, que podrían considerarse como señas de identidad de Rafael.

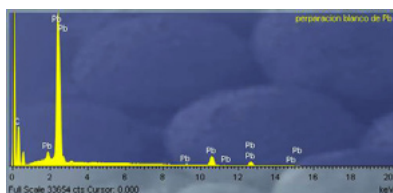


Imagen 4 |

Espectro que caracteriza al componente mayoritario de blanco de plomo a partir de los picos característicos del elemento de plomo (Pb)

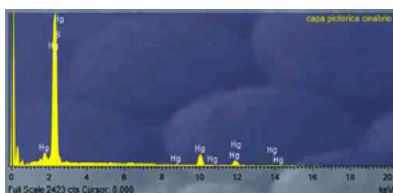


Imagen 5 |

Espectro que permite la identificación del bermellón (Hg), presente en la túnica roja de la Virgen y en la capa magna de Segismundo de Conti.

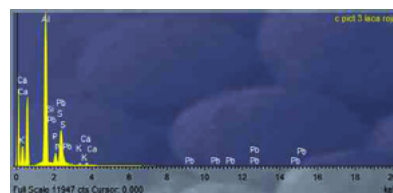


Imagen 6 |

Espectro que permite la identificación de la laca roja (Al), encontrada en las carnaciones, en la túnica roja de la Virgen, en la capa magna de Segismundo de Conti y minoritariamente en el resto de otros colores que forman parte de la composición.

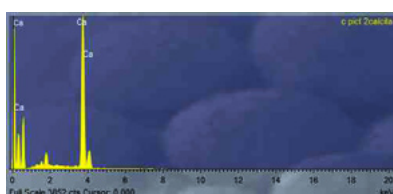


Imagen 7 |

Espectro que permite la identificación de la calcita (Ca), encontrada formando parte del color azul del manto de la Virgen, en la túnica roja junto a la laca orgánica y en la primera capa del enlucido de plomo aplicado en París, mezclada con este

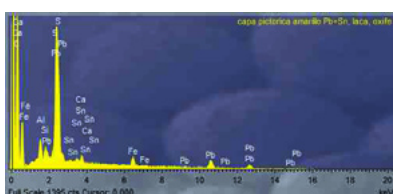


Imagen 8 |

Espectro que permiten la identificación de los pigmentos: óxidos de hierro rojos (Fe) laca orgánica roja (Al) y amarillo de plomo estaño (Pb, Sn, Si), presentes en los colores rojos junto al bermellón (Hg)

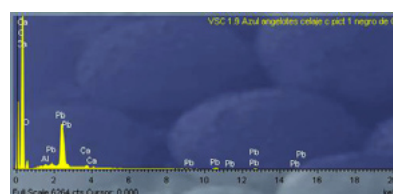


Imagen 9 |

Espectro que permite la identificación del negro de carbono (C), encontrado como elemento minoritario añadido para matizar el color azulado del rompimiento de gloria con las cabezas de los angelitos

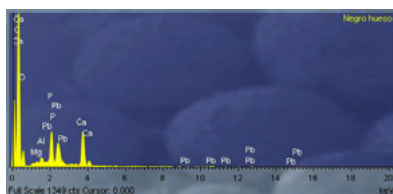


Imagen 10 |

Espectro que permite la identificación del negro de huesos (P, Ca), encontrado como pigmento minoritario, mezclado con los distintos colores para oscurecer su tonalidad en las zonas de sombra

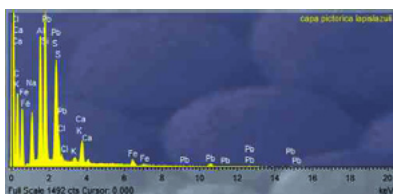


Imagen 11 |

Espectro que permite la identificación del pigmento azul de lapislázuli (Si, Al, Na, S), presente, mayoritariamente, en el manto azul de la Virgen, y en la túnica roja, como color minoritario

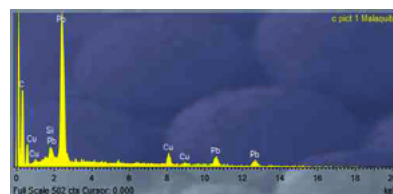


Imagen 12 |

Espectro que permiten la identificación de la malaquita (Cu), que forma parte del color del manto azul verdoso de San Jerónimo

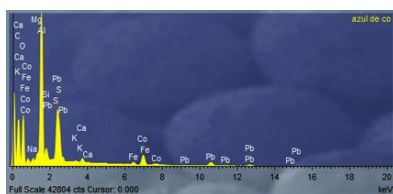


Imagen 13 |

Espectros SEM que permiten la identificación del pigmento azul de cobalto o de esmalte (Co, K, Al, O₂, Na), formando parte del manto azul de la Virgen, al igual que el lapislázuli

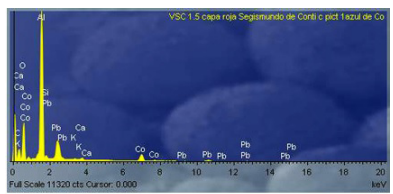


Imagen 14 |

Espectro que permite la identificación de la laca verde (Al, C), presente mayoritariamente en la composición de las distintas especies botánicas que aparecen en la zona inferior central de la pintura

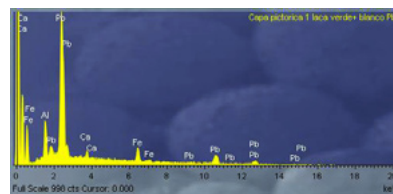


Imagen 14 |

Espectro que permite la identificación de la laca verde (Al, C), presente mayoritariamente en la composición de las distintas especies botánicas que aparecen en la zona inferior central de la pintura

16

La caracterización del azul de cobalto se ha planteado a partir del alto pico de aluminio que aparece en todos los espectros adquiridos mediante microanálisis realizado por microscopía electrónica de barrido, aunque la elevada altura del pico de aluminio nos ha podido llevar, posiblemente, a una confusión en la identificación del pigmento.

17

Este color azul pudiera tratarse del conocido "esmalte", ya que, junto a los picos de cobalto, aluminio y silicio, en algunos espectros aparecen también calcio y sodio, y en otros calcio, sodio y potasio, que podrían caracterizar al azul de esmalte, según la bibliografía consultada. Ante la duda originada por la presencia del elevado pico de aluminio en los espectros relacionado con el azul de cobalto, se ha planteado la hipótesis de que su incorporación en la pintura pudiera haberse realizado en el siglo XIX durante el proceso de transposición de tabla a lienzo, ya que no resulta improbable que en dicho procedimiento la capa pictórica pudiera resultar dañada. Aunque también sugerimos más adelante que pudiera ser un pigmento utilizado por el propio Rafael.

Como se percibe en las secuencias estratigráficas, los colores definitivos aparecen conseguidos mediante la incorporación sucesiva de capas y no por mezcla, obteniéndose las modulaciones tonales mediante grandes planos de color superpuestos, considerándose como un método de trabajo propio de Rafael (GONZÁLEZ MOZO, 2012: 331). Igualmente, las sombras de los mantos rojos están reforzadas con pinceladas cargadas de aglutinante y pigmentadas con laca o bermellón mezclados con negro (GONZÁLEZ MOZO, 2012: 332). En el estudio realizado por Santamaria y Morresi (2013: 95) sobre la *Madonna di Foligno* se puede comprobar que la sección transversal del manto de la Virgen del Vaticano tiene una configuración muy similar a la que presenta la capa magna de Segismundo de Conti de la pintura que nos ocupa, mostrándose en ambas la sucesión estratigráfica típica del proceder artístico de Rafael, tal como afirman estos autores (2013: 93).

Todos estos pigmentos están mezclados con blanco de plomo, que resulta mucho más abundante en los estratos pertenecientes a las superficies iluminadas. La laca orgánica roja con negro orgánico (imagen 9, p. 55) en unos casos, o negro de huesos (imagen 10, p. 55), en otros, predomina en los oscuros superficiales. En estas últimas capas está también presente el lapislázuli, mezclado con la laca roja, como pigmento minoritario, como ya se ha indicado.

La compleja estructuración estratigráfica existente en los ropajes rojizos pone de manifiesto un proceso creativo muy pensado y elaborado, propio de un gran artista y de una obra original, más que de una copia, en la que el copista se limitaría a imitar los colores superficiales por mezcla de pigmentos en una única capa pictórica, al desconocer la superposición interna presente en la composición originaria.

La estructuración estratigráfica de la gama de azules muestra una configuración similar a la encontrada en las vestiduras rojizas, ordenándose en varias capas, cuyo número aumenta desde las áreas iluminadas a las zonas en sombra. Las luces están elaboradas con varias capas finas de tonalidad clara, al igual que los tonos medios, aunque en estos el azul es más intenso; en las zonas en sombra y en las transiciones de luz encontramos una superposición de estratos de azul más oscuro dispuestos sobre la zona iluminada o sobre la media tinta (imagen 17, p. 59).

Los pigmentos azules identificados son lapislázuli (imagen 11, p. 55) y azul de cobalto¹⁶ o de esmalte¹⁷ (imagen 13, p. 55), y aparecen mezclados con blanco de plomo, en mayor o menor proporción, dependiendo de la luminosidad de la zona. Este pigmento blanco es mayoritario en los claros y tiene una presencia menor en las sombras, en las que predominan las veladuras de azul oscuro.

En los colores azules además se encuentran presentes cuarzo, como material de carga o secativo, y calcita, también como carga añadida para dar cuerpo y transparencia a los colores. Además, al igual que en las tonalidades rojizas de los ropajes, en donde encontramos lapislázuli para matizar su intensidad, en los azules también aparecen incorporadas tintas escarlatas con la misma finalidad. Así en las áreas iluminadas, junto al lapislázuli y blanco de plomo afloran bermellón y óxidos de hierro rojos en un estrato inferior y laca roja superficialmente; en los tonos medios asoma este mismo pigmento rojo mezclado con lapislázuli y azul cobalto o de esmalte, manifestándose también en los oscuros junto a negro de huesos. La laca roja aparece también en la base de los fondos azules del cielo de la *Madonna di Foligno* de la Pinacoteca Vaticana (SANTAMARIA; MORRESI, 2013: 91). Otro pigmento minoritario hallado en el manto azul de San Jerónimo es la malaquita (imagen 12, p. 55), que le proporciona ciertos reflejos verdosos.

De la misma manera, otras zonas azules de la pintura como el rompimiento de gloria y las cabezas angelicales que surgen de las nubes están pintados mediante la superposición de capas de pintura, en las que están presentes lapislázuli, blanco de plomo y azul cobalto o de esmalte, con la adicción de otros pigmentos minoritarios como laca roja y óxidos de hierro rojos y negros, añadidos con la misma finalidad que en los casos anteriores. Esta misma estructura estratigráfica con iguales pigmentos la encontramos también en las montañas del paisaje y en las nubes que sostienen a la Virgen y al Niño.

Según apunta Carmen Garrido sobre los cuadros de Rafael en el Museo del Prado: “en algunos cuadros sólo aparece una gruesa capa de azurita y blanco de plomo, a veces con mezcla de lapislázuli, superpuesta a una base de laca orgánica roja” (GARRIDO PÉREZ, 1985: 127), que actuaría como una base cromática de laca roja debajo del azul de cielos y paños, como describen Riitano y Seccaroni (2008: 98).

En la pintura que estudiamos no hemos encontrado el pigmento de azurita¹⁸ en los azules, ni tampoco la base cromática de laca roja debajo del azul de cielos y paños; sin embargo, en el manto azul de la Virgen, en las montañas del paisaje (imagen 18, p. 59) y en el coro de cabezas angelicales que rodean al disco solar se encuentra este pigmento de laca roja, con una presencia significativa, mezclado con blanco de plomo y azules en los estratos más internos, que proporcionarían un color entre azul y rosado, sobre el que se disponen, en superficie, capas mayoritariamente de veladuras azules, para crear bellos efectos tornasolados¹⁹.

Sin embargo, como ya se ha indicado, la laca roja ha sido detectada en los tonos medios y en los oscuros para matizar los reflejos añi- les, por lo que se deduce que Rafael podía usarla bien aplicada en

18

La azurita fue un pigmento muy utilizado por los artistas entre los siglos XV y XVII, por lo que no puede ser considerado como un pigmento característico de un determinado pintor, ya que podría estar al alcance de todos. Desconocemos si Rafael lo utilizó en todas sus pinturas, ya que muchas de ellas no han sido estudiadas y de hecho hizo uso de otros azules, propios de la época, como el lapislázuli y el azul de esmalte. Por otra parte, la pintura objeto de nuestro estudio se trata de un modelo para la conocida *Madonna di Foligno*, por lo que resultaría extraño que utilizara un pigmento tan caro como era la azurita. Asimismo, según la información derivada del microanálisis realizado sobre una estratigrafía extraída del azul de cielo (ROSSI MANARESI, 1990: 134), la azurita no fue utilizada por Rafael en la *Madonna di Foligno* de la Pinacoteca Vaticana, al menos para pintar el celaje en esta composición.

19

En este trabajo pretendemos demostrar que las capas interiores existentes a nivel estratigráfico en algunas partes de nuestra pintura funcionan de manera semejante a la base cromática de laca roja debajo del azul de cielo y paños, como anotan Riitano y Seccaroni (2008), aunque en su constitución participen, además otros pigmentos de forma minoritaria, como el blanco de plomo y los azules.

20

El azul de cobalto se trata de un pigmento detectado en 1974 y 1975 en objetos provenientes del antiguo Egipto, lo que demuestra su uso en el Egipto dinástico (EASTAUGH et ál., 2004). Aunque, al parecer, la técnica para su manufactura se perdió hasta su redescubrimiento en el siglo XVIII por el químico suizo Georg Brandt, siendo fabricado en 1802 por el químico francés Thénard (DOERNER, 1989: 50), comercializándose a partir de 1803 o 1804.

21

Las transposiciones de soportes constituyeron una práctica que supuso una moda en las tareas conservacionistas a finales del siglo XVIII y durante el siglo XIX, realizándose la sustitución de los bases originales de madera por otras nuevas de tela; operaciones que llegaron a suponer una manipulación muy agresiva sobre los materiales artísticos originales, con pérdidas de estos en algunas zonas de la composición, lo que explicarían la presencia conjunta de pigmentos utilizados en siglos diferentes.

una base independiente (GARRIDO PÉREZ, 1985: 127) o directamente incorporada en los azules, para modificarlos sutilmente, aportando profundidad y riqueza a los colores oscuros de los ropajes sin que pierdan transparencia (GONZÁLEZ MOZO, 2012: 348, nota 47), como ocurre en el caso que nos ocupa.

La caracterización del azul de cobalto²⁰ resulta de vital importancia para la autenticación cronológica del cuadro, ya que, supuestamente, se trata de un pigmento anacrónico, razón por la que es importante conocer la posible causa por la que fue añadido. En este contexto, pensamos que pudo ser incorporado en la transposición de soporte²¹ que se practicó sobre esta pintura en Francia en el siglo XIX.

Planteamos (ver nota 17, p. 56) que se trate realmente de azul de esmalte, según la bibliografía consultada, a juzgar por la presencia, en algunos espectros, de los picos de calcio, sodio y potasio, junto a los de aluminio y silicio (imagen 13, p. 55).

Aunque también planteamos la posibilidad de que el azul de cobalto fuese un color utilizado por el propio Rafael, aún sin estudiar, como ha ocurrido con el amarillo de Nápoles, que una investigación, relativamente reciente, ha demostrado que lo usó en la *Loggia de Psique* de la Villa Farnesina en Roma (SANDALINAS; RUIZ-MORENO, 2004: 41-52).

Igualmente, la estructuración estratigráfica de las carnaciones responde a una superposición de estratos en los que el blanco de plomo (imagen 4, p. 55) tiene una presencia significativa, actuando como masa matriz sobre la que se añaden los pigmentos característicos del color carne, como son: bermellón, óxidos de hierro rojos y laca orgánica roja —este colorante orgánico también fue utilizado por Rafael en las carnaciones de los personajes de la *Madonna di Foligno* del Vaticano, como apuntan Santamaria y Morresi (2013: 91)—, estando presentes también cuarzo y calcita.

Al igual que en el resto de tonalidades, también encontramos pigmentos minoritarios añadidos para enfriar el tono de las carnaciones, como lapislázuli y azul cobalto o de esmalte y el amarillo de plomo y estaño (imagen 8, p. 55) para modular la tonalidad de los colores rojos. Sin embargo, en el caso de la figura de San Juan Bautista aumenta la proporción de óxidos de hierro y de silicatos buscando una tonalidad más contrastada y propia de la piel de los varones. Y en las más rosadas de la Virgen, del Niño y del angelito predomina la laca roja, matizada por los colorantes azules.

Como apunta Carmen Garrido es interesante destacar que en las carnaciones, normalmente, se ha detectado amarillo de plomo y estaño

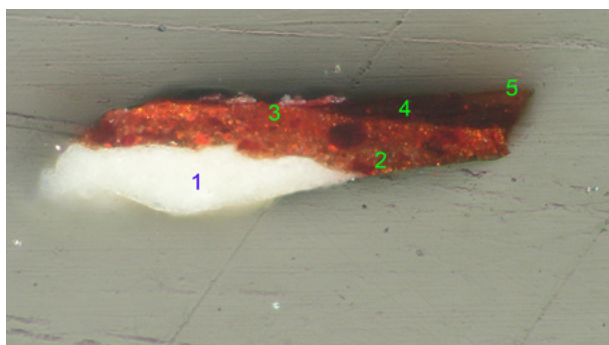


Imagen 15 |
Estratigrafía correspondiente a la túnica roja de la Virgen, con los diferentes estratos constituidos con bermellón, laca roja y óxidos de hierro rojos

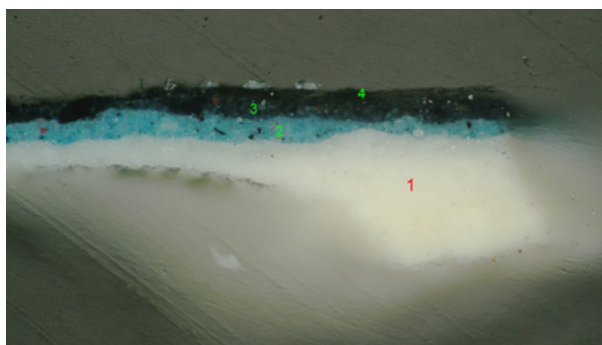


Imagen 17 |
Estratigrafía extraída del manto azul de la Virgen, observada con microscopía óptica e iluminación normal

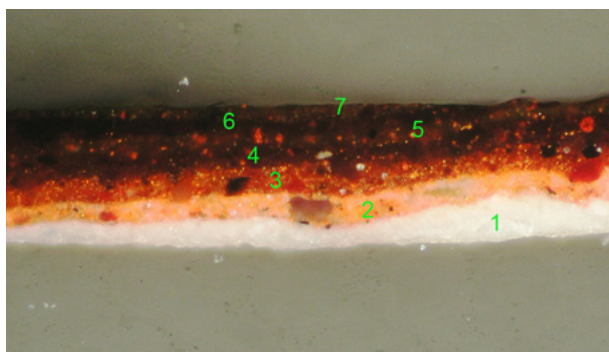


Imagen 16a |
Estratigrafía correspondiente a la capa roja de Segismundo de Conti, observando la superposición de múltiples estratos, que ponen de manifiesto la consecución de las tonalidades finales mediante la incorporación sucesiva de capas de color con diferentes intensidades

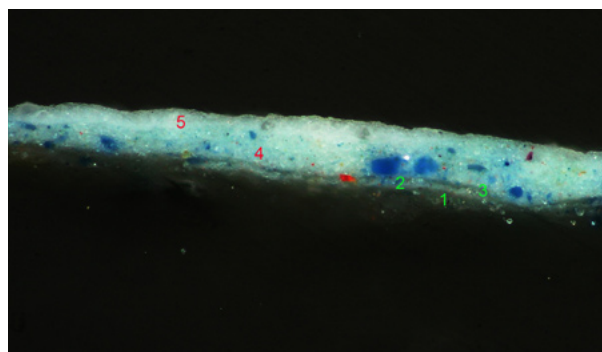


Imagen 18 |
Estratigrafía correspondiente a las montañas del paisaje, en la que se aprecia la fina capa interna con la que el pintor esboza los elementos de la composición a modo de grisalla. Igualmente se identifican los granos de laca roja que, junto a los azules, forman parte de la composición de la misma

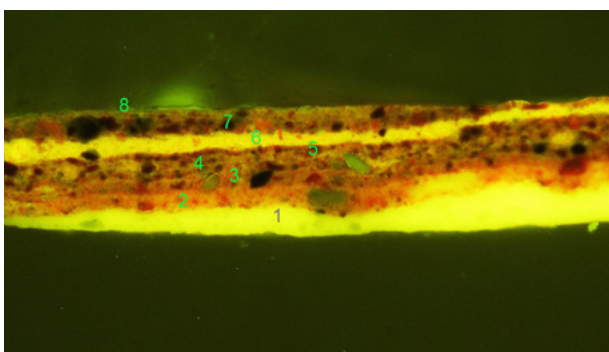


Imagen 16b |
Estratigrafía correspondiente a la capa roja de Segismundo de Conti, observada con iluminación ultravioleta por microscopía óptica, en la que se aprecia la distribución de pigmentos y la configuración del color mediante la superposición de múltiples estratos de fino espesor

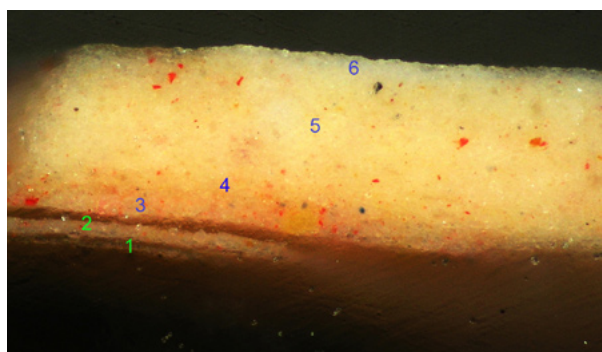


Imagen 19 |
Estratigrafía correspondiente a las carnaciones del angelito central, en la se aprecia, internamente, la grisalla diluida y el modelado de las carnaciones con pintura empastada

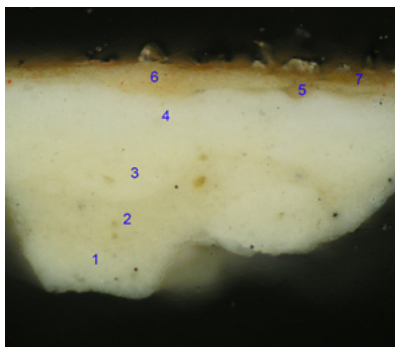


Imagen 20 |

Estratigrafía correspondiente a la carnación de San Juan Bautista, apreciándose, con microscopía óptica, las tres primeras capas de blanco de plomo, la imprimación, las primeras machas con abundancia de aglutinante y los estratos pictóricos

en pequeñas cantidades, en unión con el blanco de plomo; también en la mezcla existe bermellón (GARRIDO PÉREZ, 1985: 128). Estos dos pigmentos referenciados por Garrido han sido encontrados formando parte de las carnaciones en la pintura objeto de estudio.

En las carnaciones del angelito (imagen 19, p. 59) destacan superficialmente y con mayor grosor los toques empastados de luz. Sin embargo, a nivel interno, se visualiza una fina capa con abundancia de aglutinante, que pone de manifiesto la relación entre la estructuración estratigráfica y el proceso creativo seguido por el autor, ya que pertenece a las manchas de color aplicadas por el pintor de forma muy diluida en las primeras fases de la ejecución pictórica, y se corresponden con el modelado inicial de las formas. Sin embargo, en las figuras masculinas (imagen 20) el modelado se logra por contraste entre masas adyacentes de distinta luminosidad y textura (GONZÁLEZ MOZO, 2012: 332), y el color es algo más contrastado, aplicándose empastes de albayalde sobre la fina base subyacente, que se aprecia a simple vista en las zonas de sombra.

Este modelado de las carnaciones, sobre todo las masculinas, se percibe de manera semejante en la *Madonna di Foligno* de la Pinacoteca Vaticana en las que se han detectado estas capas subyacentes aplicadas en los primeros estadios de la ejecución pictórica, con un aspecto gris-marrónáceo y sobre las que se disponen las pinceladas de luz para el modelado de las carnaciones (GONZÁLEZ MOZO, 2012: 348).

Esta fina capa de naturaleza orgánica, relacionada con los primeros trazos de color aplicados por Rafael, de forma muy diluida para estructurar las formas, se ha encontrado también en la sección estratigráfica correspondiente a las montañas (imagen 18, p. 59).

Además, en ella se ha caracterizado la presencia de laca orgánica roja, proporcionándole un color rojizo, por lo que podría actuar de manera semejante a la base cromática de laca roja debajo de los azules ya comentada (GARRIDO PÉREZ, 1985: 127; RIITANO; SECARONI, 2008: 98). Asimismo esta capa de naturaleza diluida realizada con pintura muy fluida por la abundancia del aglutinante se percibe claramente en la estratigrafía correspondiente al hábito de San Francisco (imagen 21), compuesta además por varios estratos, localizándose esta base en el estrato más interno.

Su estructura también responde al proceder creativo de Rafael que trabajaba el color mediante la incorporación sucesiva de capas (GONZÁLEZ MOZO, 2012: 331). El color de esta prenda está conseguido con los siguientes pigmentos: blanco de plomo, óxidos de hierro amarillos y negros, malaquita, laca orgánica roja, cuarzo y calcita.

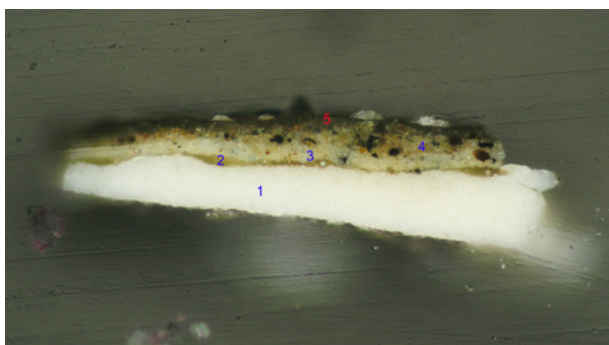


Imagen 21 |

Estratigrafía correspondiente al hábito de San Francisco, en la que se aprecia la fina capa oleosa diluida perteneciente a las primeras manchas de color aplicadas por Rafael para el modelado de las figuras

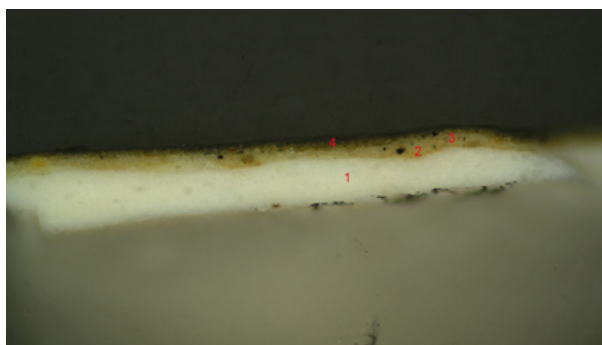


Imagen 23 |

Estratigrafía correspondiente a las zonas del suelo, en las que se observa el bosquejo inicial con pintura diluida y la superposición de capas de color

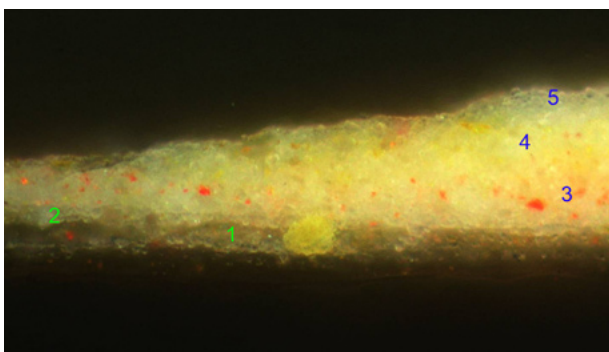


Imagen 22 |

Estratigrafía correspondiente al color naranja del disco solar en la que se aprecia internamente la fina capa oleosa, muy diluida y las capas empastadas que constituyen el color amarillento anaranjado del tondo solar

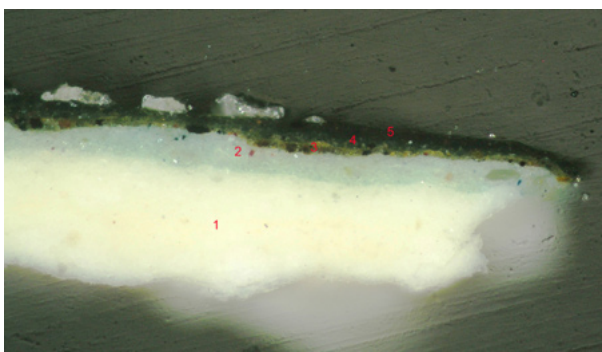


Imagen 24 |

Estratigrafía correspondiente al color verdoso de las plantas, observándose a nivel interno un estrato azulado sobre el que se dibujan las especies botánicas

Del mismo modo existe esta fina capa interna en las tonalidades amarillas del disco solar que rodea a las figuras de la Virgen con el Niño (imagen 22).

La estructura estratigráfica de este tondo anaranjado responde a una superposición de varias capas finas, que van aumentando su grosor hacia la superficie a la vez que van aclarando su tonalidad desde un anaranjado hacia un amarillo intenso; en el color resultante están presentes los siguientes pigmentos: óxidos de hierro amarillos, laca orgánica roja y blanco de plomo; también se encuentran minoritariamente negro de vid, bermellón y calcita.

Este fino estrato interior, de naturaleza orgánica detectado en varias estratigrafías, lo relacionamos con el bosquejo inicial aplicado por Rafael en las primeras fases de la ejecución pictórica con la finalidad de estructurar las formas en el conjunto de la composición.

22

La laca verde ha sido identificada por el alto pico de carbono, por el de aluminio y por la imagen de BSE, revelando un número atómico bajo que concuerda con su composición orgánica.

Las primeras manchas internas, que destacan por su fluidez y están realizadas con una pasta pictórica muy fluida debido a la predominancia del aglutinante, han sido visualizadas con reflectografía infrarroja, como se ha comentado anteriormente, percibiéndose como dinámicos brochazos con los que el pintor define el modelado de las figuras, a modo de grisalla, valorando las luces, las sombras y los medios tonos (GONZÁLEZ MOZO, 2012: 327).

La vegetación de la parte inferior de la pintura aparece visualmente sobre el amarillo verdoso del suelo (imagen 23, p. 61), pero a nivel interno resulta configurada por un estrato de color verde azulado claro sobre el que se extienden veladuras oscuras que recortan la silueta de las distintas especies botánicas (imagen 24, p. 61), evidenciándose en la estratigrafía una sucesión de capas que aparecen del mismo modo en la sección transversal de la *Madonna di Foligno* del Vaticano; secuencias de color que son típicas del proceder artístico de Rafael (SANTAMARIA; MORRESI, 2013: 93).

En su elaboración participan laca verde²² (imagen 14, p. 55), blanco de plomo, óxidos de hierro amarillos y negro de huesos; encontrándose también otros pigmentos minoritarios para armonizar los matices verdosos de las plantas como laca orgánica roja, lapislázuli y azul cobalto o de esmalte.

Esta base verde azulada la podríamos relacionar con la reflexión de Bruno Mottin, cuando anota que Rafael preparaba la mayor parte de las zonas coloreadas con una primera capa de un color diferente al de la capa superior; la presencia de estas primeras capas hace que vibren los tonos superiores (MOTTIN; RAVAUD; BASTIAN et ál., 2012: 353).

En nuestro trabajo hemos hecho hincapié en la identificación de los pigmentos minoritarios, ya que en muchos casos aportan información muy importante para el conocimiento del proceso creativo de las pinturas y su correcta atribución cronológica y de autoría, al constituir peculiaridades técnicas propias de un gran artista.

Aglutinantes

El análisis de aglutinantes se ha llevado a cabo mediante cromatografía de gases-espectrometría de masas, a partir de dos micromuestras extraídas de la superficie de la pintura, obteniéndose unos cromatogramas con los picos característicos de los ácidos azelaico, palmítico y esteárico, que nos indican que los pigmentos han sido aglutinados con aceite secante.

Para la caracterización del tipo de aceite secante se ha procedido estableciendo la correlación existente entre la composición en áci-

dos grasos presentes en las muestras envejecidas, empleando un método analítico basado en hallar el cociente entre las cantidades relativas de ácido palmítico y ácido esteárico, obtenidas tras el análisis cromatográfico.

Este cociente C16/C18 [P/S], al tratarse de ácidos grasos saturados no reactivos, permanece invariable durante el secado, resultando característico para cada tipo de aceite y es en gran medida independiente del pigmento que esté presente (MILSS; WHITE, 1987).

Por otra parte, el ácido azelaico, principal producto de degradación de los aceites secantes, también se utiliza para la caracterización de este tipo de sustancias. En concreto la relación ácido azelaico/ácido palmítico (2C9/C16) [A/P], que es característica de cada aceite. No obstante, este valor va a depender de factores tales como mezclas de aglutinantes, presencia de pigmentos (GIMENO ADELANTADO et ál., 2001) y envejecimiento de la muestra.

Los resultados obtenidos arrojan los siguientes valores:

Muestra n.º 1 (verde especies vegetales): A/P=0,25 y P/S=0,67

Muestra n.º 2 (arco marrón): A/P= 0,13 y P/S= 0,79

Atendiendo a la bibliografía consultada (GIMENO ADELANTADO et ál., 2001) los valores obtenidos mediante el análisis cromatográfico nos sugieren la presencia de aceite de linaza, teniendo en cuenta la posible influencia que sobre los valores característicos de este aceite, estarían ejerciendo las gruesas capas de blanco de plomo²³ presentes en las muestras.

Además de estos resultados aquí expuestos, se está llevando a cabo un estudio más profundo de los aglutinantes presentes en esta pintura en colaboración con especialistas en Química Analítica, que esperamos publicar próximamente.

CONCLUSIONES

A partir de la interpretación de los resultados se puede concluir que esta pintura fue creada sobre un soporte de madera y posteriormente traspasada a lienzo en Francia, en la segunda mitad del siglo XIX, cronología confirmada por los fragmentos de papel pegados en el reverso del bastidor. Uno de ellos aparece escrito en francés con tinta gálica en el que aparece la fecha de 1888; otro pertenece a la hoja escrita de un libro publicado en 1872. En el tercero aparece la letra mayúscula "R". El cuadro se encuentra firmado en la bocamanga de la túnica roja

23

Como ya se ha explicado en la descripción de las estratigrafías, estas capas de blanco de plomo, o de preparación, fueron incorporadas en el proceso de transposición de tabla a lienzo realizado sobre la obra. Material que también se encuentra en la imprimación y mezclado con los distintos pigmentos para la consecución de los colores definitivos. Probablemente la alta cantidad de blanco de plomo en las muestras analizadas ha influido en los valores obtenidos en las relaciones A/P y P/S].

de la Virgen mediante un anagrama con las letras “RV”, de manera semejante a como Rafael lo hace en la *Madonna di Foligno* de la Pinacoteca Vaticana, en la que se observa un anagrama similar formando parte de la decoración dorada de la bocamanga de su túnica. Rúbrica confirmada por L. Sanfelice en el diario *La stampa* (secc. Arte, 10/01/2014), cuando la pintura del Vaticano se encontraba en exposición en el Palazzo Marino di Milano (28 de noviembre de 2013-12 de enero de 2014).

Además, la observación de la superficie pictórica mediante una cámara fotográfica con lentes de aproximación ha permitido detectar, en la muñeca de la mano derecha de la Virgen, unos grafismos realizados de forma incisa con un fino objeto cuando la pintura se encontraba casi seca. En estos, pueden apreciarse parte de unas letras reproduciendo “RAF...” y debajo de ellas el guarismo “1507”, que podrían corresponder con el nombre de Raffaello y el año de 1507.

El hecho de que estos grafismos hayan sido realizados sobre el óleo cuando se encontraba en estado mordiente demuestra su autenticidad, ya que en caso de haber sido ejecutados sobre la pintura seca, no mostrarían los surcos limpios a nivel microscópico, sino de forma accidentada como consecuencia de las micropartículas que saltarían al pasar el punzón sobre ella.

En el estudio de la estructuración estratigráfica de la pintura se han observado hasta cuatro capas de blanco de plomo, separadas entre sí por otras más finas de naturaleza orgánica. De todas ellas, las tres más internas actúan como “preparación” y forman parte del referido proceso de transposición de tabla a lienzo. La cuarta capa de plomo se correspondería con la “imprimación” original aplicada por Rafael, que se encuentra en contacto íntimo con las capas de color. Las finas capas de naturaleza orgánica fueron aplicadas en dicho proceso de cambio de soporte, posiblemente, para consolidar la interfase entre cada una de las capas de plomo.

Se han caracterizado los pigmentos constituyentes de la paleta del pintor en esta obra, utilizados como materiales artísticos en el siglo XVI: blanco de plomo, laca orgánica roja, bermellón, óxidos de hierro rojos, amarillos y negros, lapislázuli, azul cobalto o de esmalte amarillo de plomo y estaño, negro de huesos, malaquita, tierra verde y laca verde, cuarzo y calcita. La mayoría de estos pigmentos se encuentran presentes también en la *Madonna di Foligno* de la Pinacoteca Vaticana.

Aunque también se ha detectado un posible pigmento anacrónico como es el azul de cobalto, que pudo ser incorporado en el proceso de transposición de tabla a lienzo, como ya se ha explicado anterior-

mente, o bien utilizado por el propio Rafael, a falta de una investigación profunda de toda su producción que lo clarifique.

El análisis cromatográfico sugiere la presencia del aceite de linaza como aglutinante de los pigmentos.

La estructuración estratigráfica pone de manifiesto el proceso creativo seguido por el pintor desde el inicio de la gestación de la pintura, materializado en un primer esbozo realizado a modo de grisalla con pintura diluida cargada de aglutinante, sobre el que se incorporan sucesivas capas coloreadas para conseguir modulaciones tonales y los colores definitivos.

Cabe destacar como recursos pictóricos propios el uso de pigmentos minoritarios para matizar los colores, como la incorporación del lapislázuli y de amarillo de plomo y estaño en los rojizos; bermellón, óxidos de hierro rojos y laca roja en los azules y lapislázuli y amarillo de plomo y estaño en las carnaciones.

La complejidad detectada en las secciones transversales estudiadas, materializada, por una parte, en la superposición de estratos internos, producto de la incorporación sucesiva de capas y, por otra, en la adición, en pequeña proporción, de distintos pigmentos juntos al color mayoritario, con la finalidad de modificarlo sutilmente, responden al proceder creativo de Rafael y pone de manifiesto la originalidad de la pintura, ya que en una copia resulta imposible imitar la compleja estructuración interna de una obra.

Pensamos que este proceso creativo derivado de la interpretación y análisis de las estratigrafías estudiadas, que planteamos en este trabajo, se ajusta al proceder artístico seguido por Rafael en la creación de sus pinturas, por lo que consideramos que esta *Madonna di Foligno pequeña* pueda tratarse de una obra autógrafa del propio Rafael.

BIBLIOGRAFÍA

BELLUCCI, R.; FROSININI, C. (2008)

Nuove indagini riflettografiche su Raffaello. Riflessioni per la pianificazione, l'elaborazione e la tecnica dell'underdrawing". En CIATI, M.; FROSININI, C.; NATALI, A. et ál. (eds.) *Raffaello: la rivelazione del colore. Il restauro della Madonna del Cardellino della Galleria degli Uffizi*. Florencia: Edifir, 2008, pp. 79-94

CHRISTENSEN, C. (1986)

Examination and Treatment of Paintings by Raphael at the National Gallery of Art. *Raphael Before Rome, Studies in the History of Art*, 17, 1986

DOERNER, M. (1989)

Los materiales de pintura y su empleo en el arte. Barcelona: Reverté, 1989

DUNKERTON, J.; HOWARD, H. (2009)

Sebastiano del Piombo's *Raising of Lazarus*: A History of Change. *National Gallery Technical Bulletin*, 30, 2009

DUNKERTON, J.; PIAZZOTTA, C. (2002)

Drawing and Design in Italian Renaissance Painting. En BOMFORD, D. (ed) *Art in the Making. Underdrawings in Renaissance Paintings*. Londres: National Gallery Company Limited, 2002, pp. 53-70

EASTAUGH, N. et ál. (2004)

Pigment Compendium: A Dictionary of Historical Pigments. Oxford; Burlington: Elsevier, Butterworth Heinemann, 2004

ÉMILE MÂLE, G. (1982)

La première transposition au Louvre en 1750: *La Charité* de Andrea del Sarto. *La Revue du Louvre et des musées de France*, XXXII, 3, 1982

ÉMILE MÂLE, G. (1983)

Le transport, le séjour et la restauration á Paris de la Sainte Cécile de Raphaël 1796-1815. En ARMAROLI, M. (ed.) *Indagini per un dipinto. La Santa Cecilia di Raffaello*. Bologna: ALFA, 1983

ÉMILE MÂLE, G. (2008)

Pour une histoire de la restauration des peintures en France. Paris: Institut national du patrimoine, 2008

ÉTIENNE, N. (2011)

Polémique et politique. La réception des peintures restaurées á Paris après spoliation (1795-1815). *Historie de l'Art*, n.º 68, mayo 2011

FALCUCCI, C. (2008)

Raffaello: la Madonna dell'Agnello: indagini diagnostiche. Campi Bisenzio: CGE, 2008

FREEDBERG, S. J. (1978)

Pittura en Italia. 1500-1600. Madrid: Cátedra, 1978

GARRIDO PÉREZ, M. C. (1985)

Consideraciones técnicas sobre las pinturas de Rafael del Museo del Prado. En *Rafael en España*. Madrid: Ministerio de Cultura, 1985, p. 110

GARRIDO PÉREZ, M. C. (2006)

El trazo oculto. Dibujos subyacentes en las tablas del Museo del Prado. En FINALDI, G.; GARRIDO, C. (eds) *El trazo oculto: dibujos subyacentes en pinturas de los siglos XV y XVI: del 20 de julio al 5 de noviembre de 2006*. Madrid: Museo Nacional del Prado, 2006, pp. 16-53

GIMENO ADELANTADO, J. V. et ál. (2001)

Identification of lipid binders in paintings by gas chromatography. Influence of the pigments. *Journal of Chromatography A*, 922 (2001), pp. 385-390

GONZÁLEZ MOZO, A.; ALONSO, R. (2011)

Reflexión ante la restauración del *Pasmo de Sicilia*, de Rafael. *Boletín del Museo del Prado*, 47, 2011

GONZÁLEZ MOZO, A. (2012)

La Técnica Pictórica de Rafael en Roma. En HENRY, T.; JOANNIDES, P. (eds.) *El Último Rafael*. Madrid: Museo Nacional del Prado, 2012

HARLEY, R. D. (2001)

Artists' Pigments c. 1600-1835. London: Archetype Publications Ltd., 2001

KÖNIG, E. (ed.) (2008)

Los grandes pintores italianos del Renacimiento. El triunfo del color. Barcelona: Ullmann, 2008, vol. II

LACROIX, P. (1859)

Restauration des tableaux de Raphael. Rapport a L'Institut National sur la Restauration du Tableau de Raphaël connu sous le nom de *La Vierge de Foligno* par les citoyens Guyton, Vincent, Taunay et Berthollet. *Revue Universalle des Arts*, París: 1859 (LACROIX, P. (ed.)). Tome Neuvième)

MATEINI, M.; MOLES, A. (2001)

Ciencia y Restauración. Método de Investigación. Madrid: Nerea, 2001

- MILSS, J. S.; WHITE, R.** (1987)
The organic chemistry of museum objects. London: Butterworths, 1987
- MOGFORD, H.** (1876)
Hand-Book for the Preservation of Pictures; containing practical instructions for Cleaning, Lining, Repairing, and Restoring Oil Paintings, Eighth ed., London, 1876
- MORRESI, F.; SANTAMARIA, U.** (2011)
Maltechnologische Untersuchungen zu Raffaels Madonna von Foligno. En HENNING, A.; NESSELRATH, A. (eds.) *Himmlicher Glanz. Raffael, Dürer und Grünewald, malen die Madonna.* München; London; New York: Prestel, 2011
- MONTAGNA, G.** (1993)
I Pigmenti. Prontuario per l'Arte e Il Restauro. Firenze: Nardini Editore, 1993
- MOTTIN, B.; RAVAUD, E.; BASTIAN, G. et ál.** (2012)
En torno a Rafael en Roma: Estudio técnico de los cuadros del Musée du Louvre. En HENRY, T.; JOANNIDES, P. *El Último Rafael.* Madrid: Museo Nacional del Prado, 2012
- NUCCIARELLI, F. I.; SEVERINI, G.** (2007)
Raffaello, La Madonna di Foligno. Perugia: Quattroemme, 2007
- PACHECO, F.** (1990)
El Arte de la Pintura. Madrid: Cátedra, 1990
- PLESTER, J.** (1990)
Technical Aspects of Some Paintings by Raphael in the National Gallery, London. En SHEARMAN, J.; HALL, M. B. (eds.) *The Princeton Raphael Symposium: Science in the Service of Art History.* Princeton; Oxford: Princeton University Press, 1990
- RIITANO, P.; SECCARONI, C.** (2008)
Attorno all'imprimatura. En CIATI, M.; FROSININI, C.; NATALI, A. et ál. (eds.) *Raffaello: la rivelazione del colore. Il restauro della Madonna del Cardellino della Galleria degli Uffizi.* Florencia: Edifir, 2008
- RODRÍGUEZ SIMÓN, L. R.** (1999)
Il trattato di Pacheco e la Scuola pittorica barocca di Granada. *Kermes* 36, Settembre-Dicembre, 1999
- RODRÍGUEZ SIMÓN, L. R.** (2002)
La técnica pictórica de algunas obras de Alonso Cano. En *Alonso Cano, 1601-1667, arte e iconografía: Museo Diocesano "Alonso Cano", antigua Curia Eclesiástica: exposición conmemorativa del cuarto centenario del nacimiento del artista, Granada.* Granada: Arzobispado de Granada, 2002
- ROSSI MANARESI, R.** (1983)
Contributi analitici allo studio della Santa Cecilia di Raffaello. En EMILIANI, A. (ed.) *Indagini per un dipinto. La Santa Cecilia di Raffaello.* Bologna: Edizioni ALFA, 1983
- ROSSI MANARESI, R.** (1990)
A Technical Examination of Raphael's *Santa Cecilia* with Reference to the *Transfiguration* and the *Madonna di Foligno.* En SHEARMAN, J.; HALL, M. B. (eds.) *The Princeton Raphael Symposium: Science in the Service of Art History.* Princeton; Oxford: Princeton University Press, 1990
- SANDALINAS, C.; RUIZ-MORENO, S.** (2004)
Lead-Tin-Antimony Yellow. **Historical Manufacture, Molecular Characterization and Identification in Seventeenth-Century Italian Paintings.** *Studies in Conservation*, 49, 2004
- SANTAMARIA, U.; MORRESI, F.** (2013)
Indagini scientifiche. En MERLINI, V.; STORTI, D. (eds.), *Raffaello a Milano. La Madonna di Foligno.* Milano: 24 ORE Cultura srl, 2013
- STRINATI, C.** (2011)
Raphaël. Paris: Imprimerie nationale éd.; Arles: [diff.] Actes Sud, impr. 2011
- TALVACCHIA, B.** (2007)
Rafael. Barcelona: Phaidon Press Limited, 2007
- VV.AA.** (2008)
La Ciencia y el Arte: ciencias experimentales y conservación del Patrimonio Histórico. Madrid: Ministerio de Cultura, Subdirección General de Publicaciones, Información y Documentación, DL 2008-2010, 2 vol. (269, 214 p.)
- WUNDRAM, M.** (1997)
La pintura del Renacimiento. Madrid: Taschen, 1997

Aproximación a la identificación de agentes fúngicos en control de biodeterioro

Yerko Andrés Quitral Quitral **01** | Richard Francisco Solís **01** |

El control ambiental en archivos y museos se ha convertido en el principal eje de estudio en planes de conservación preventiva en colecciones de interés. El factor de mayor importancia en la conservación de los objetos es el mantenimiento estable de variables como la temperatura, la humedad relativa y la iluminación. Contextos ambientales con alta humedad traen como consecuencia el desarrollo de hongos dentro de las colecciones y su proliferación en el tiempo, acelerando los procesos degradativos del papel, además de poner en riesgo la salud de quienes manipulan dicho material.

En la presente investigación se procederá a la identificación in situ de la carga microbiológica en cada uno de los ambientes donde se mantienen las colecciones del Archivo Central, por medio del cultivo en placas de crecimiento bacteriano, comparando tanto los ambientes de interior como los de exterior del edificio. La identificación de la carga microbiológica presente en las salas del Archivo ayudará a desarrollar planes de conservación específicos, asociados a métodos de limpieza, mantenimiento de las condiciones ambientales necesarias para la conservación preventiva de los libros y la elaboración de estrategias de salud ambiental en cada caso.

Palabras clave

Archivo Central Andrés Bello (Chile) | Archivos | Biodeterioro | Conservación | Hongos | Papel |

Approach to the identification of fungal agents in biodeterioration control

Yerko Andrés Quitral Quitral **01** | Richard Francisco Solís **01** |

Environmental control in archives and museums has become the main focus of study in plans for preventive conservation of collections of interest. The most important factor in the preservation of objects, is maintaining stable environments such as temperature, relative humidity, and lighting. The consequences of environmental parameters such as high humidity lead to development of fungi within the collections and their proliferation in time, accelerating the degradation processes of the paper, along with endangering the health of those who handle such material.

The aim of this work is the in situ identification of microbial load in each of the environments where the collections of the Central Archives are kept. An experimental approach involving growth on bacterial plates comparing environments from both inside and outside of the building will be developed. The identification of fungal contamination in the Archive rooms will help develop specific conservation plans, associated with cleaning methods, in order to maintain the environmental conditions necessary for preventive conservation of books and the development of environmental health strategies in each case.

Keywords

Archivo Central Andrés Bello (Chile) | Archives | Biodeterioration | Preservation | Fungi | Paper |

URL de la contribución <<http://www.iaph.es/phinvestigacion/index.php/phinvestigacion/article/view/90>>

INTRODUCCIÓN

Se ha descrito ampliamente que las condiciones ambientales que favorecen el desarrollo de los agentes bióticos son los ambientes húmedos, cálidos, oscuros y de poca ventilación, asociados al tipo de sustrato que se contenga (PADFIELD, 2002). Esto se agrava por la presencia de contaminación y polución ambiental que se transmite al material de forma directa. Los límites críticos de los parámetros ambientales, antes de la aparición de los deterioros, dependen del material sustrato de los objetos, en donde una pieza de piedra compacta tendrá límites críticos más amplios que una pieza de material orgánico. De acuerdo a esto, los materiales más propensos al ataque biológico son aquellos de origen orgánico como el papel, la pintura, los textiles y la madera (ARROYO, 2009; LÓPEZ-MARTÍNEZ; HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ; MILLÁN-CHIU et ál., 2007).

Dentro de los principales materiales que son atacados por hongos el papel puede sufrir ataque biológico y degradación por varios microorganismos (HEMPEL; RAKHRA; ROTHWELL et ál., 2014; KARBOWSKA-BERENT; GÓRNYB; STRZELCZYKA et ál., 2011; PADFIELD, 2002), tanto en bibliotecas como archivos, variando su efecto en función de las condiciones medioambientales y la composición del sustrato (AREA; HERVÉ, 2011; VALENTÍN; GARCÍA; LUIS et ál., 1998; HAYLEEYESUS; MANAYE, 2014).

Los insectos y los hongos son los agentes biológicos más frecuentes, y detener la evolución de este tipo de deterioro no es fácil, debido a que este es originado frecuentemente por las condiciones indebidas de almacenaje (AREA; HERVÉ, 2011), sumado a la eventual negligencia del personal del museo –factor antrópico– sobre el control de variaciones medioambientales –factor medioambiental–, que traerá como consecuencia la aparición de colonias de microorganismos sobre los soportes –factor biodeterioro– (ARROYO, 2009; LÓPEZ-MARTÍNEZ; HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ; MILLÁN-CHIU et ál., 2007).

Entre los principales factores que estimulan la degradación del papel se encuentran las degradaciones ácida, alcalina y biológica, la oxidación y los gases atmosféricos (ZOTTI; FERRONI; CALVINI, 2008; AREA; HERVÉ, 2011; CHANDRU; GABRIELLE, 2002).

Otros sufren deterioro de forma endógena (pH, iones metálicos, lignina, productos de degradación) y exógena (calor, humedad, polución) (AREA; HERVÉ, 2011; DAHLIN, 2002; SAWOSZCZUK; WANDELT; BARANSKI et ál., 2004). En este caso, los principales factores de riesgo son los ambientales dentro de las salas de exposición de los objetos (DAHLIN, 2002), llevando a elevar las contaminaciones microbiológicas.

La degradación de la celulosa puede deberse a varios tipos de energía impuesta, como energía química, térmica y radiante, que pueden provenir de variadas rutas de reacción. El modelo de degradación del papel incluye la degradación química (hidrólisis ácida, hidrólisis enzimática, degradación alcalina y degradación oxidativa), degradación térmica debido a variaciones de temperatura, radiación por exposiciones a radiación (UV/visible y de alta energía) (AREA; HERVÉ, 2011; ZOU; GURNAGUL; UESAKA et ál., 1994).

La degradación es un proceso hidrológico delimitado por la temperatura, la humedad y el agua presente en el papel (equilibrio de humedad) (AREA; HERVÉ, 2011), siendo de vital importancia especialmente en archivos y museos, donde el envejecimiento en varias condiciones reduce las propiedades mecánicas y la calidad óptica de los papeles, libros y otros artefactos. Las reacciones de deshidratación proceden de elevadas temperaturas, que llevan a la formación de dehidropolisacáridos (KAČÍKA; KAČÍKOVÁB; JABLONSKÝC et ál., 2009).

La infección de hongos sobre objetos de exhibición o almacenados en depósitos con alta humedad es un problema frecuente en distintos países, junto con la aparición de algunas bacterias que pueden provocar riesgos (DAHLIN, 2002; SAHAB; DISSOKI; SAHABA et ál., 2012; UMEH; JULUKU; ICHOR, 2007). De los agentes biológicos que atacan material orgánico se podría establecer a los hongos como uno de los más dañinos; estos degradan una gran diversidad de materiales mediante la producción de enzimas específicas. El crecimiento de los micelios (conjunto de hifas que componen el hongo) hace que este se extienda rápidamente por la superficie del material infestado. Esto ocasiona el debilitamiento de los enlaces químicos de los materiales y manchas o coloraciones producto de los ácidos que metabolizan. Aunque el agente de daño sea controlado y eliminado, su paso por el soporte deja evidencias irreversibles para lo cual no existe un método de conservación no invasivo que permita reestablecer su apariencia original (ARROYO, 2009; LÓPEZ-MARTÍNEZ; HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ; MILLÁN-CHIU et ál., 2007).

Dentro del daño biológico causado por agentes fúngicos, *Aspergillus niger* y *Paecilomyces variotii* son representativos de los hongos más comunes encontrados en documentos contaminados. Los hongos producen enzimas que atacan químicamente las fibras del papel y degradan las macromoléculas de celulosa. Sin embargo, este no es el único problema, debido a que el metabolismo de los hongos puede producir desechos ácidos, los cuales contribuyen a la degradación (AREA; HERVÉ, 2011). El color de una colonia madura proporciona sólo una guía general para la identificación del organismo, y puede variar ampliamente en manchas micológicamente idénticas, lo que depende de su fase de desarrollo, los nutrientes en el sustrato, la

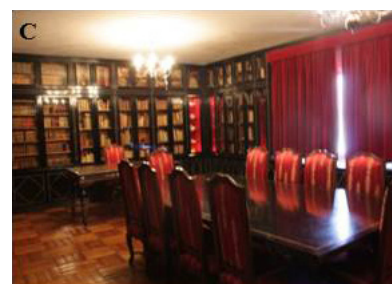


Imagen 1 |

Identificación de ambientes en estudio interior Archivo Central Andrés Bello. Laboratorio de Conservación/Restauración (A), Depósito de documentos (B), Sala Neruda (C). Fotos: Yerko A. Quitral Quitral, de todas las imágenes del artículo, salvo que se especifique lo contrario

presencia de otros organismos, edad, pH y otros factores ambientales (MAYNOR, 1998). Como resultado de este proceso de degradación, se obtiene un papel frágil y con puntos coloreados.

El mayor problema es la gran resistencia que poseen las esporas que originan el desarrollo de los hongos, pudiendo estar inertes o “dormidas” por años, siendo reactivadas bajo condiciones favorables de humedad y temperatura (AREA; HERVÉ, 2011; VALENTÍN; GARCÍA; LUIS et ál., 1998; PADFIELD, 2002). Los hongos requieren alimento orgánico para su desarrollo y materiales que contienen celulosa como el papel proveen de un buen sustrato para su crecimiento (SARANRAJ; STELLA; REETHA, 2012; MAYNOR, 1998; KUHAD; GUPTA; SINGH, 2011; TORRES; NEGRO; FUENTE et ál., 2012).

En la naturaleza, los hongos cumplen una función necesaria como parte del ciclo a través del cual la materia orgánica es reutilizada. En colecciones de museos, archivos y bibliotecas estamos intentando detener el ciclo por el cual la materia orgánica se descompone para liberar dióxido de carbono. Este ciclo depende de la temperatura y la humedad, por lo que el control ambiental es una herramienta esencial para evitar la germinación y el crecimiento (MAYNOR, 1998).

Son variados los estudios realizados en relación con la contaminación biológica proveniente de la polución ambiental en archivos y museos (VALENTÍN; GARCÍA; LUIS et ál., 1998; APETREI; DRĂGĂNESCU; POPESCU et ál., 2009; BANKOLE, 2010; BORREGO; LAVIN; PERDOMO et ál., 2012; BORREGO; PERDOMO, 2012; KALWASIŃSKA; BURKOWSKA; WILK, 2012; HAYLEEYESUS; MANAYE, 2014; HEMPEL; RAKHRA; ROTHWELL et ál., 2014). En dichos estudios se investiga la carga biológica ambiental, asociada a contaminantes externos, como las personas que transitan por los lugares de trabajo y los equipos de ventilación, entre otros.

El daño producido al papel es irreversible y, a largo plazo, puede causar una completa destrucción de los documentos. Por esta razón realizaremos un estudio específico de las condiciones ambientales de los lugares de depósito de los documentos y la identificación de los principales patógenos que atacan, siendo relevantes para la elaboración de planes de erradicación biológica y de conservación del material.

MATERIALES Y MÉTODOS

Determinación de carga fúngica presente en el edificio

La identificación de la carga fúngica presente en las distintas dependencias del edificio se realizará por medio de una toma de muestra

directa en los estantes contenedores de las colecciones y en cada una de las principales salas del edificio.

Se tomaron 10 muestras de estantes contenedores de las colecciones, junto con muestras ambientales de la carga fúngica de 8 salas de relevancia (aquellas que contienen colecciones patrimoniales).

Cada una de las muestras, tanto las tomadas de muebles como las ambientales, se cultivaron a temperatura ambiente durante 7 días, observando su progreso de forma diaria hasta el crecimiento. Cada una de las muestras se registró por medio de fotografía digital (cámara Canon EOS 5D) y cuantificada por medio del programa ImageJ 1.48v.

Identificación de la infección

Una primera aproximación en la detección de la carga biológica asociada a infecciones por hongos comunes se determinó en una colección con relevancia histórica de aproximadamente 6.000 ejemplares pertenecientes a la Colección Neruda, donde alrededor de un 1,7% del total de la colección presentaba infección fúngica en estado de espora.

Se tomaron muestras al azar de 6 libros y 8 estantes que contienen la colección. Esta acción se realizó por medio de hisopos de algodón estéril sobre una superficie de 3 cm² en cada caso. Posteriormente se sembraron en placas de crecimiento con gelatina al 15% suplementadas con antibiótico (penicilina y estreptomycin) al 1%.

Las placas fueron crecidas a temperatura ambiente (25 °C) durante 7 días, registrando su crecimiento por medio de fotografía digital (cámara Canon EOS 5D).

Al final del crecimiento se cuantificó por medio del programa ImageJ 1.48v y analizados estadísticamente (ANOVA una vía) por medio del programa SigmaPlot 12.

Identificación por medio de microscopía óptica

Se tomaron muestras de libros contenidos en los estantes que presentan infección fúngica en las muestras anteriormente dispuestas. Se sometió a fotografía por microscopía óptica para evidenciar la presencia de esporas en estado de reposo.

La identificación se realizó por medio del microscopio marca Interlab, SZMCTV1/2 guardando las imágenes en formato JPEG en cada caso.

Determinación de la efectividad de protocolo de limpieza para material papel infectado

Se analizaron aproximadamente 100 libros correspondientes a una infección fúngica a gran escala a causa de anegamiento en el Instituto Nacional de Chile. Cada ejemplar se registró antes y después de la utilización del protocolo de limpieza.

Para comenzar el proceso se debe identificar y clasificar las muestras (libros) según el grado de contaminación visible (alta, media o baja contaminación). Posteriormente se debe realizar una desinfección/limpieza mecánica por medio de aspiradora con filtro húmedo. En el caso de no existir el equipo, poner a la aspiradora normal en la parte que corresponde al filtro de pelusas, un filtro papel Whatman n.º 5 o tela gasa embebido en etanol 70%. Si no se encuentra disponible agua destilada, utilizar agua hervida y fría, tapada sin contacto con el ambiente y mantenida en radiación UV por 25 min, cambiando la solución cuando esté completamente ennegrecida. Los desechos deben dejarse en un contenedor con etanol al 70% hasta su eliminación.

Después de la aspiración se limpió de forma mecánica por medio de cepillos o brochas en un ambiente aireado o bajo campana de extracción, protegidos con mascarilla, anteojos de seguridad y guantes de látex. Una vez terminado el proceso de limpieza eliminar guantes y desechos en el contenedor con alcohol 70%.

Luego se debe realizar una limpieza individual utilizando gasa humedecida en la solución de alcohol al 70% directamente en la tapa del libro, pero sin usar de modo directo en las hojas. Si se encuentra infección dentro del libro remover solamente con brocha y gasa seca. En el proceso, jamás tocar con la mano; sólo debe realizarse utilizando pinzas y eliminar en frasco con alcohol 70%. Una vez realizada la limpieza ventilar el libro hasta su secado según protocolos de laboratorio.

Se debe considerar que existe una variabilidad de protocolos dispuestos para la limpieza de documentos y otros para pergaminos (VORONINA; NAZAROVA; PETUSHKOVA, 1980) y cueros (GONZÁLEZ ÁLVAREZ, 2005). Sin embargo en esta investigación sólo recurriremos en primera instancia a la incorporación de la dilución de etanol mencionada para observar cambios considerables con respecto de la infección encontrada.

Cuando los libros se encuentren en su lugar de almacenaje, se debe fumigar el conjunto de libros, de manera tal que reciban la misma cantidad de alcohol en su superficie, sin mojar el papel, sino humedecer de forma leve. Para conseguir esto, la solución debe ser agitada fuer-

temente antes de dispersar y en lo posible estar levemente tibia para facilitar su dispersión y penetración en el material.

Finalmente dejar airear los libros a temperaturas no superiores a 22 °C con humedad estable no superior a 45% y aireación constante. Monitorear la estabilidad de las muestras durante al menos 15 días en condiciones ambientales estables, con control de temperatura ambiental y humedad dentro del establecimiento, al mismo tiempo que se observan in situ los contenedores de libros. En paralelo, deben mantenerse en condiciones adecuadas las instalaciones contenedoras de los libros, como las estanterías. Estas deben someterse a una rigurosa limpieza por medio de aspiración y por medio de paños húmedos en alcohol 70%.

RESULTADOS

Carga fúngica presente en el edificio

Como se describió en materiales y métodos, se estudiaron 8 salas de relevancia en el Archivo Central Andrés Bello, las cuales contienen colecciones relevantes para Chile. Cada una de las muestras se tomó por triplicado para registrar diferencias entre las salas por medio de la cuantificación del crecimiento, donde se observaron diferencias significativas entre las salas, como se aprecia en las imágenes 2 y 3, respectivamente.

Dentro de las principales características registradas, está la variación existente en relación con la afluencia de personas por día (tabla

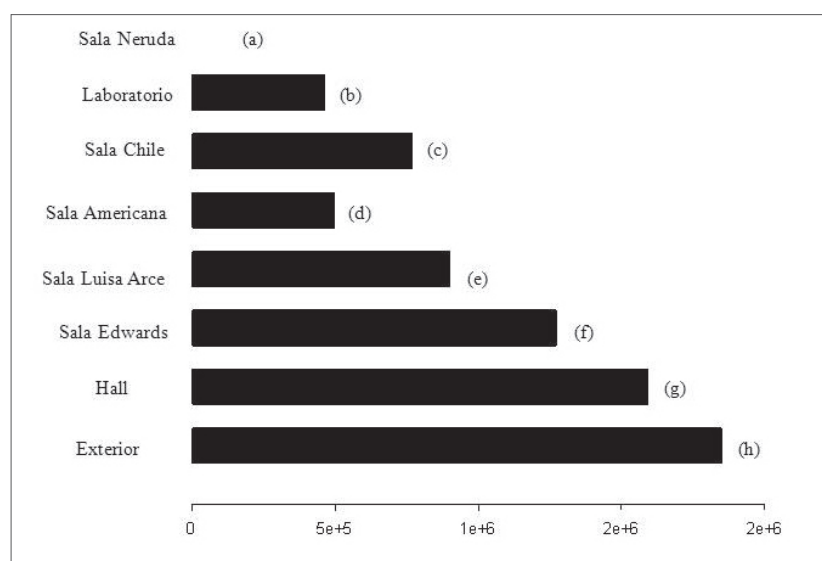


Imagen 2 |

Cuantificación del crecimiento fúngico en las distintas salas del Archivo Central Andrés Bello. Diferencias significativas (a, b, c, d, e, f, g y h) en todos los niveles (α 0,05, α 0,01 y α 0,001)

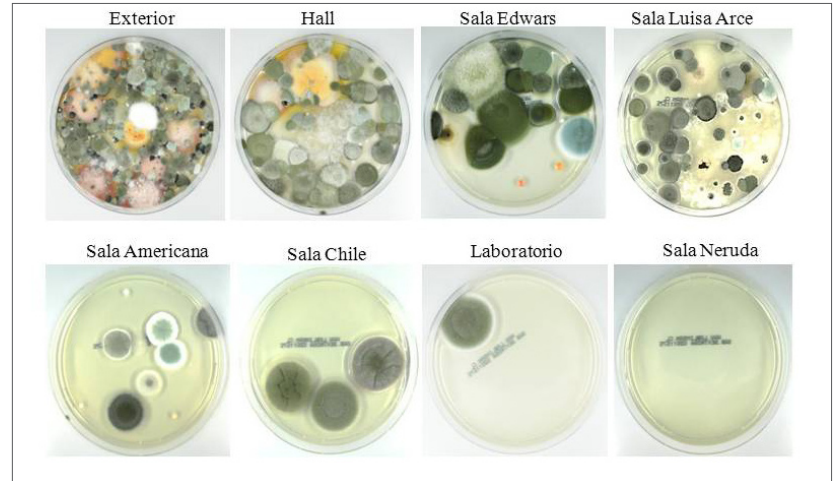


Imagen 3 |

Detección de la carga fúngica ambiental en el Archivo Central Andrés Bello en salas de relevancia y de trabajo. Cada muestra se obtuvo por triplicado (n=3) en distintos lugares de la sala

1), la cual se correlacionó con la cuantificación realizada del crecimiento fúngico en cada sala. La correlación encontrada en el exterior del Archivo (p 0,98396) y en el hall de entrada (p 0,79339) nos dice que existe una relación casi perfecta (p 1.0) entre la concentración de hongos registrados y la afluencia de público, resultados esperados para espacios abiertos y sin control de ningún tipo. Por otro lado, la Sala Edward Matte (p 0,69686), la Sala Luisa Arce (p 0,6318) y el Laboratorio (p 0,49746) presentan una correlación positiva menor a las anteriores, pero de igual forma relacionando el número de personas con el crecimiento fúngico registrado. En la Sala Americana y Sala Chile se registraron valores de p -0,37382 y p -0,16092 respectivamente; existe una correlación negativa en ambos casos.

Identificación de infección

La contaminación ambiental de las salas no se encuentra relacionada directamente con la que pueda estar presente en el material propiamente dicho. Por esta razón se realizó una toma de muestra en los estantes contenedores de las colecciones en cada caso.

En la imagen 4 se observa la cuantificación del crecimiento en unidades de crecimiento (uc) por placa para distintos estantes del Archivo, incluyendo Sala Neruda, pasillos y estantes fuera de las salas antes mencionadas (tabla 1).

Se observa un crecimiento diferencial en cada una de las muestras tomadas para los estantes del edificio y un crecimiento positivo en alguno de los estantes de la Sala Neruda, que no había registrado contaminación ambiental.

Durante el registro de libros contaminados en la Sala Neruda, se identificó la presencia de esporas en estado de latencia (imagen 5), obser-

sala	nombre	T.º	% H	afluencia
1	Exterior	16	47	+20
2	Hall de entrada	14,1	50,3	+20
3	Sala Domingo Edwards Matte	16,3	48,3	0
4	Sala Luisa Arce	14,2	50,1	+2
5	Sala Americana	15,4	49,1	+1
6	Sala Universidad de Chile	14,7	50,09	0
7	Laboratorio	15	51	+5
8	Sala Neruda	13,9	47	0

Tabla 1 |

Salas del Archivo Central Andrés Bello expuestas a toma de muestras ambientales. Se destaca la temperatura y humedad relativa en cada caso

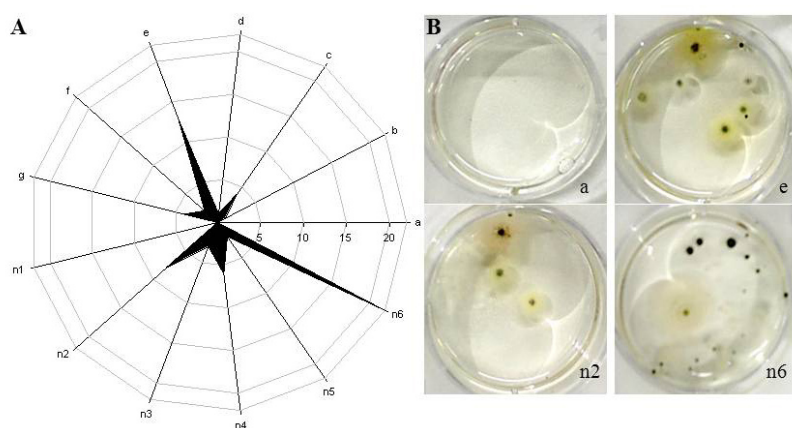


Imagen 4 |

Identificación de carga fúngica (cf) en estantes de Sala Neruda y Archivo Central. En A se representa el conteo de cf en placa para los estantes a-b-c-d-e-f y g. Estantes n.º 1 al n.º 6 son muestras al azar de distintos estantes del edificio. En B, se observa el crecimiento en placas obtenido para las máximas (e, n2 y n6) en relación con el control sin crecimiento

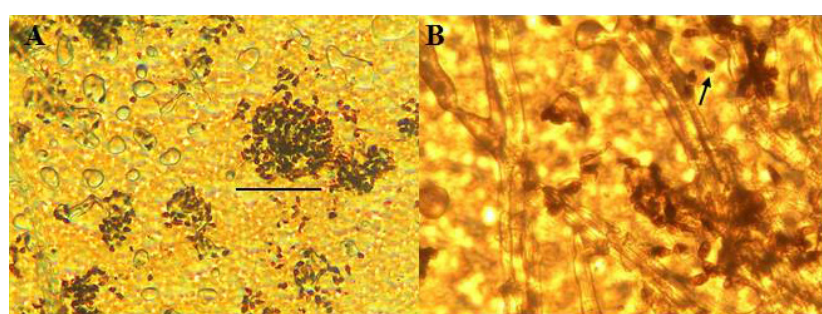


Imagen 5 |

Esporas e hifas de hongos identificados en ejemplares de la Colección Neruda observados bajo microscopio invertido en aumento 20X donde se observa una agrupación de las esporas contenidas en la muestra (A) y en aumento 60X donde se identifica una espora en particular (B)

vándose estructuras fúngicas características junto con una agrupación de esporas en detalle.

Determinación de la efectividad de protocolo de limpieza para material papel infectado

En relación con los niveles de infección encontrados, tanto en el

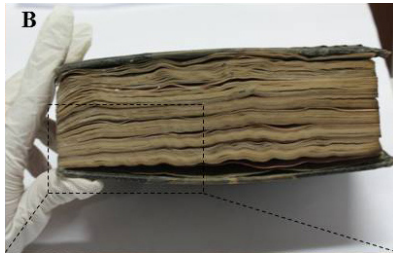
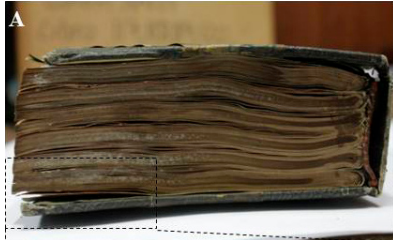


Imagen 6 |
 Inhibición y contención de la infección fúngica por medio de la estandarización de métodos de limpieza y esterilización. En A se presenta un libro con un alto porcentaje de infección por hongos y en B el mismo libro posterior a los protocolos de limpieza. Maximización de la infección en C y maximización de la limpieza en D

ambiente y los estantes de contención de libros, se estandarizó un protocolo de desinfección con mínima intervención para libros que sufrieron un anegamiento de lluvia directa por falla de material techumbre.

Para la prueba del protocolo de esterilización del material (libros) que se describió en materiales y métodos, se utilizaron elementos estériles y desechables para cada uno de los libros.

En la imagen 6 se observa un libro caracterizado con grado alto de contaminación sometido al protocolo de limpieza, registrándose las diferencias en el grado de infección posterior al procedimiento de desinfección.

DISCUSIÓN

La identificación de la carga fúngica y microbiológica presente en espacios de conservación patrimonial supone en primera instancia una protección para las personas que trabajan y manipulan los materiales de tipo orgánico (papeles, fibras, pinturas), ya que se ha descrito con anterioridad contaminaciones importantes en archivos, museos y lugares de almacenamiento (APETREI; DRĂGĂNESCU; POPESCU et ál., 2009; ARROYO, 2009; BANKOLE, 2010; BORREGO; LAVIN; PERDOMO et ál., 2012; BORREGO; PERDOMO, 2012; DAHLIN, 2002; HEMPEL; RAKHRA; ROTHWELL et ál., 2014). La inexistencia de investigaciones al respecto pueden llevar a importantes contaminaciones tanto de los materiales contenidos en estos lugares como a la transmisión de enfermedades entre las personas (ALBERTI; BOUAKLINE; RIBAUD et ál., 2001; PERDELLI; CRISTINA; SARTINI et ál., 2006; KAMAL; BURKE; VESPER et ál., 2014; NEVALAINEN; TÄUBEL; HYVÄRINEN, 2015).

Según los datos obtenidos para las salas en estudio, todas registraron un nivel de contaminación menor al control positivo (exterior). El *hall* de entrada presentó un nivel levemente menor al del exterior, explicándose claramente por la conexión directa presente al ambiente externo. En las salas propiamente dichas, se encontró una carga variable y considerable en cada una de ellas (imágenes 2 y 3). Sin embargo en la Sala Americana y en la Sala Chile los niveles de contaminación encontrados no se asocian directamente al número de personas que puedan transitar en la sala, sino a factores externos, como contaminación cruzada traída desde el exterior por parte de los trabajadores o la utilización de equipos de ventilación inapropiados.

Del mismo modo, se realizó la determinación para estantes pertenecientes a las salas en estudio y específicamente para la Sala Neruda donde la detección ambiental no había registrado crecimiento fún-

gico. Así dentro de las muestras que se tomaron, se registró un crecimiento variable entre los estantes contenedores, indicando que se deben establecer protocolos de limpieza específicos para este tipo de muebles.

En la Sala Neruda se presentó contaminación en cinco de los seis estantes analizados, registrándose la más alta contaminación en el estante n.º 6 (imagen 4). Estos resultados nos indican que, independientemente de que la carga fúngica ambiental de la Sala Neruda sea cero (imagen 3), en el interior de los estantes se encuentran esporas en estado de latencia para colonizar el material orgánico dispuesto en ellas.

Referente a lo anterior, se registró por medio de microscopía óptica un ejemplar contenido en los estantes contaminados para la identificación de esporas en estado de latencia. La obtención de la imagen (imagen 5) muestra las esporas encontradas en el ejemplar que será posteriormente llevado a limpieza y esterilización.

La totalidad de los ejemplares encontrados con grados variables de infección se sometió a limpieza, siendo posteriormente guardados bajo condiciones de temperatura y humedad controladas, sumado a condiciones de conservación del material, como cajas libres de ácido, entre otras.

Identificando las variables ambientales que estimulan la proliferación fúngica en las salas con contaminación y la correlación de la infección con la manipulación del personal que trabaja con los libros, se desarrollarán protocolos de limpieza de las salas de contención de las colecciones, junto a protocolos de manipulación y limpieza de libros y material orgánico dentro del edificio para disminuir los niveles de carga fúngica registrados en este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- ALBERTI, C.; BOUAKLINE, A.; RIBAUD, P. et ál.** (2001)
Relationship between environmental fungal contamination and the incidence of invasive aspergillosis in haematology patients. *Journal of Hospital Infection*, n.º 48 (3), 2001, pp. 198-206
- APETREI, I. C.; DRĂGĂNESCU, G.; POPESCU, I. et ál.** (2009)
Possible cause of allergy for the librarians: books manipulation and ventilation as sources of fungus spores spreading. *Aerobiologia*, n.º 25 (3), 2009, pp. 159-166
- AREA, M. C.; HERVÉ, C.** (2011)
Paper aging and degradation recent findings and research methods. *BioResources*, n.º 6, 2011, pp. 5307-5337
- ARROYO, I.** (2009)
The Role of Fungi in the Deterioration of Movable and Immoveable Cultural Heritage. *e-conservation magazine*, n.º 9, 2009, pp. 40-50
- BANKOLE, O. M.** (2010)
A review of biological deterioration of library materials and possible control strategies in the tropics. *Library Review*, n.º 59 (6), 2010, pp. 414-429
- BORREGO, S.; LAVIN, P.; PERDOMO, I., et ál.** (2012)
Determination of Indoor Air Quality in Archives and Biodeterioration of the Documentary Heritage. *ISRN Microbiology*, n.º 10, 2012
- BORREGO, S.; PERDOMO, I.** (2012)
Aerobiological investigations inside repositories of the National Archive of the Republic of Cuba. *Aerobiologia*, n.º 28 (3), 2012, pp. 303-316
- CHANDRU, J. S.; GABRIELLE, H.** (2002)
Spontaneous Formation of Acids in the Natural Aging of Paper. *Studies in Conservation*, n.º 47 (Supplement-3), 2002, pp. 189-192
- DAHLIN, E.** (2002)
Preventive conservation strategies for organic objects in museums, historic buildings and archives. In: *5th EC Conference report Cultural Heritage Research: a pan European Challenge*, 2002, pp. 16-18
- GONZÁLEZ ÁLVAREZ, G. M.** (2005)
Recientes avances en conservación de objetos de cuero. *Revista de la Subdirección General de Museos Estatales*, n.º 1, 2005, pp. 80-87
- HAYLEYESUS, S. F.; MANAYE, A. M.** (2014)
Microbiological Quality of Indoor Air in University Libraries. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, n.º 4 (Suppl 1), 2014, pp. S312-S317
- HEMPEL, M.; RAKHRA, V.; ROTHWELL, A. et ál.** (2014)
Bacterial and fungal contamination in the library setting: a growing concern? *Environmental Health Review*, n.º 57 (01), 2014, pp. 9-15
- KAČÍKA, F.; KAČÍKOVÁB, D.; JABLONSKÝC, M. et ál.** (2009)
Cellulose degradation in newsprint paper ageing. *Polymer Degradation and Stability*, n.º 94 (9), 2009, pp. 1509-1514
- KALWASIŃSKA, A.; BURKOWSKA, A.; WILK, I.** (2012)
Microbial air contamination in indoor environment of a university library. *Ann Agric Environ Med*, n.º 19 (1), 2012, pp. 25-29
- KAMAL, A.; BURKE, J.; VESPER, S. et ál.** (2014)
Applicability of the Environmental Relative Moldiness Index for Quantification of Residential Mold Contamination in an Air Pollution Health Effects Study. *Journal of environmental and public health* [en línea], 2014 <<http://www.hindawi.com/journals/jep/2014/261357/>> [Consulta: 14/12/2015]
- KARBOWSKA-BERENT, J.; GÓRNYB, R. L.; STRZELCZYKA, A. B. et ál.** (2011)
Airborne and dust borne microorganisms in selected Polish libraries and archives. *Building and Environment*, n.º 46 (10), 2011, pp. 1872-1879
- KUHAD, R. C.; GUPTA, R.; SINGH, A.** (2011)
Microbial Cellulases and Their Industrial Applications. *Enzyme Research* [en línea], 2011, p. 10 <<http://www.hindawi.com/journals/er/2011/280696/>> [Consulta: 14/12/2015]
- LÓPEZ-MARTÍNEZ, R.; HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, F.; MILLÁN-CHIU, B. E. et ál.** (2007)
Efectividad del imazalil en el control del deterioro por hongos de momias del museo de El Carmen, Ciudad de México. *Revista Iberoamericana de Micología* [en línea], n.º 24 (4), 2007, pp. 283-288 <<http://www.reviberoammicol.com/2007-24/283288.pdf>> [Consulta: 14/12/2015]
- MAYNOR, C.** (1998)
Catálogo de conservación de papel del American Institute for Conservation: Hongos. *Conservaplan: Documentos para Conservar*, n.º 14, 1998, p. 42
- NEVALAINEN, A.; TÄUBEL, M.; HYVÄRINEN, A.** (2015)

Indoor fungi: companions and contaminants. *Indoor air*, vol. 25, n.º 2, abril 2015, pp. 125-156

PADFIELD, T. (2002)

The Interplay between building components. En *Conservation Physics-Index* [en línea], 2002 <http://www.conservationphysics.org/wproj/wproj_tp_ver9.pdf> [Consulta: 19/11/2015]

PERDELLI, F.; CRISTINA, M. L.; SARTINI, M. et ál. (2006)

Fungal contamination in hospital environments. *Infection Control*, n.º 27 (01), 2006, pp. 44-47

SAHAB, A.; DISSOKI, B.; SAHABA, S. et ál. (2012)

Studies on fungal contamination of current Egyptian paper banknotes. *Intl J Microbiol Res*, n.º 3 (1), 2012, pp. 75-81

SARANRAJ, P.; STELLA, D.; REETHA, D. (2012)

Microbial celulasas and its applications: a review. *International Journal of Biochemistry & Biotech Science*, n.º 1, 2012, pp. 1-12

SAWOSZCZUK, T.; WANDELT, P.; BARANSKI, A. et ál. (2004)

Degradation of paper as studied by fiber length measurements after hydrodynamical treatment. En *Proceedings of the International Conference. Durability of Paper and Writing, November 16-19, 2004, Ljubljana, Slovenia* [en línea]. Ljubljana: National and University Library, 2004, pp 78-80 <<http://www.science4heritage.org/Zbornik.pdf>> [consulta: 19/11/2015]

TORRES, C.; NEGRO, C.; FUENTE, E. et ál. (2012)

Enzymatic approaches in paper industry for pulp refining and biofilm control. *Applied microbiology and biotechnology*, n.º 96 (2), 2012, pp. 327-344

UMEH, E.; JULUKU, J.; ICHOR, T. (2007)

Microbial contamination of Naira (Nigerian currency) notes in circulation. *Res J Environ*, n.º 1, 2007, pp. 336-339

VALENTÍN, N.; GARCÍA, R.; LUIS, O. DE et ál. (1998)

Microbial control in archives, libraries and museums by ventilation systems. *Restaurator Copenhagen*, n.º 19, 1998, pp. 85-107

VORONINA, L. I.; NAZAROVA, O. N.; PETUSHKOVA, Y. P. (1980)

Disinfection and Straightening of Parchment Damaged by Microorganisms. *Restaurator*, vol. 4 (2), 1980, pp. 91-98

ZOTTI, M.; FERRONI, A.; CALVINI, P. (2008)

Microfungal biodeterioration of historic paper: Preliminary

FTIR and microbiological analyses. *International Biodeterioration & Biodegradation*, n.º 62, 2008, pp. 186-194

ZOU, X.; GURNAGUL, N.; UESAKA, T. et ál. (1994)

Accelerated aging of papers of pure cellulose: mechanism of cellulose degradation and paper embrittlement. *Polymer Degradation and Stability*, n.º 43 (3), pp. 393-402

La primera sede de la Universidad de Sevilla y el traslado de su portada

Javier Tejido Jiménez 01|

El colegio-universidad de Santa María de Jesús, construido a comienzos del siglo XVI como sede fundacional de la Universidad de Sevilla, es un conjunto del que se desconocen muchos datos. Las investigaciones realizadas indican que se trató de una arquitectura singular, ampliada en diferentes etapas. Fue demolido en 1909 a causa de la apertura de la actual avenida de la Constitución, conservándose la capilla. Se mantuvo durante algunos años el vestíbulo colegial, que finalmente fue destruido y del cual sólo se conservó la parte inferior de la portada, cuyos sillares se trasladaron hacia 1912 al compás del convento de Santa Clara. En 1922 Juan Talavera y Heredia recompuso esta portada como acceso al Museo Arqueológico municipal, que se instaló en la torre de Don Fadrique y su entorno. Los últimos hallazgos arqueológicos e historiográficos permiten realizar una interpretación gráfica de la planta del edificio, clave para la historia de la arquitectura universitaria sevillana.

Palabras clave

Antiguo Monasterio de Santa Clara | Arquitectura | Colegio-Universidad de Santa María de Jesús | Historia | Intervención en bienes inmuebles | Patrimonio inmueble | Portadas de edificios | Sevilla (Sevilla) | Talavera y Heredia, Juan (1880-1960) |

The first headquarters of the University of Seville and the relocation of its portal

Javier Tejido Jiménez 01|

The College of Santa Maria de Jesus, built at the beginning of the 16th century as the founding headquarters of the University of Seville, is an ensemble with many unknown details. The investigations indicate that it was a singular architecture, expanded in stages. It was demolished in 1909 due to the opening of the Avenue (current Constitución Avenue), conserving the chapel. The College hall was finally destroyed and was preserved only the gothic portal, whose blocks were transported to the beat of the convent of Santa Clara towards 1912 and remained there for some years. Juan Talavera y Heredia rebuilt this portal in 1922 as access to the municipal Archaeological Museum, which was installed in the Tower of Don Fadrique and its surroundings. The latest archaeological and historiographical findings allow a graphic interpretation of the floor of the building, so important for the history of Seville University architecture.

Keywords

Ancient Monastery of Santa Clara | Architecture | College of Santa María de Jesús | History | Intervention in immovable heritage | Immovable heritage | Portals of buildings | Seville (Seville) | Talavera y Heredia, Juan (1880-1960) |

URL de la contribución <<http://www.iaph.es/phinvestigacion/index.php/phinvestigacion/article/view/109>>

1

Archivo Histórico Municipal de Sevilla (AHMS). Construcciones y Reconstrucciones. Expte. 2-3-50.

2

Los trabajos más destacados de su historia corresponden a Hazañas y la Rúa (1909), Aguilar Piñal (1969), Sanz Serrano (1984-2005) y Ollero Pina (1993).

PRESENTACIÓN

El colegio-universidad de Santa María de Jesús es la institución originaria de la Universidad de Sevilla. Fue fundado a principios del siglo XVI por el canónigo sevillano Rodrigo Fernández de Santaella (1444-1509), con bulas papales de 1505 y 1508, y recibió en 1518 a sus primeros colegiales (AGUILAR PIÑAL, 1991). Por descripciones históricas sabemos que a partir de un núcleo inicial se fueron realizando ampliaciones y llegó a ser un conjunto organizado en torno a dos claustros de diferente tamaño –el mayor de ellos con arquerías sobre columnas– y a disponer de un jardín trasero que conectaba con la calle (GONZÁLEZ DE LEÓN, 1844). Funcionó como colegio de becarios y universidad abierta a religiosos y seglares durante los casi tres siglos que transcurren desde sus inicios hasta la separación de ambas instituciones por decreto de Carlos III, lo que originó en 1771 el primer traslado de la universidad, a la antigua casa profesa de la Compañía de Jesús.

Tras la segregación, el colegio se mantuvo en el edificio con un declive progresivo hasta la desamortización de Mendizábal, momento en que quedó suprimido y pasó al Estado. Después de una breve utilización como cuartel de la milicia local, a partir de 1848 acogió el seminario conciliar, para lo cual recibió obras de adaptación previas a su apertura y una importante ampliación en el último tercio del XIX. En 1901 el Arzobispado de Sevilla vendió el edificio al promotor inmobiliario Juan Bautista Calvi, al pasar el seminario al palacio de San Telmo como consecuencia del legado de la Infanta María Luisa de Borbón (ESPIAU EIZAGUIRRE, 1991). A principios del siglo XX la ciudad tenía la intención de abrir una gran vía de conexión entre el centro monumental y las zonas de expansión hacia el sur, que más tarde estarían asociadas al proyecto de Exposición Iberoamericana, produciéndose la apertura del primer tramo de la Avenida a través del edificio en 1909, mediante la demolición casi completa del conjunto¹.

ANTECEDENTES HISTORIOGRÁFICOS

Aunque el colegio de Maese Rodrigo ha sido estudiado desde el punto de vista histórico y artístico por diversos autores², debido a las escasas fotografías del edificio y a la ausencia de planimetría conocida, podemos afirmar que de su arquitectura se sabe relativamente poco, más allá del conocimiento de las piezas conservadas. Del conjunto construido a principios del quinientos se ha mantenido la capilla gótico-mudéjar, que permanece en buen estado, propiedad del Arzobispado y gestionada por el Consejo General de Hermandades y Cofradías de Sevilla. También se conserva el cuerpo inferior de la antigua portada del colegio, cuyas piezas se trasladaron hacia 1912 al

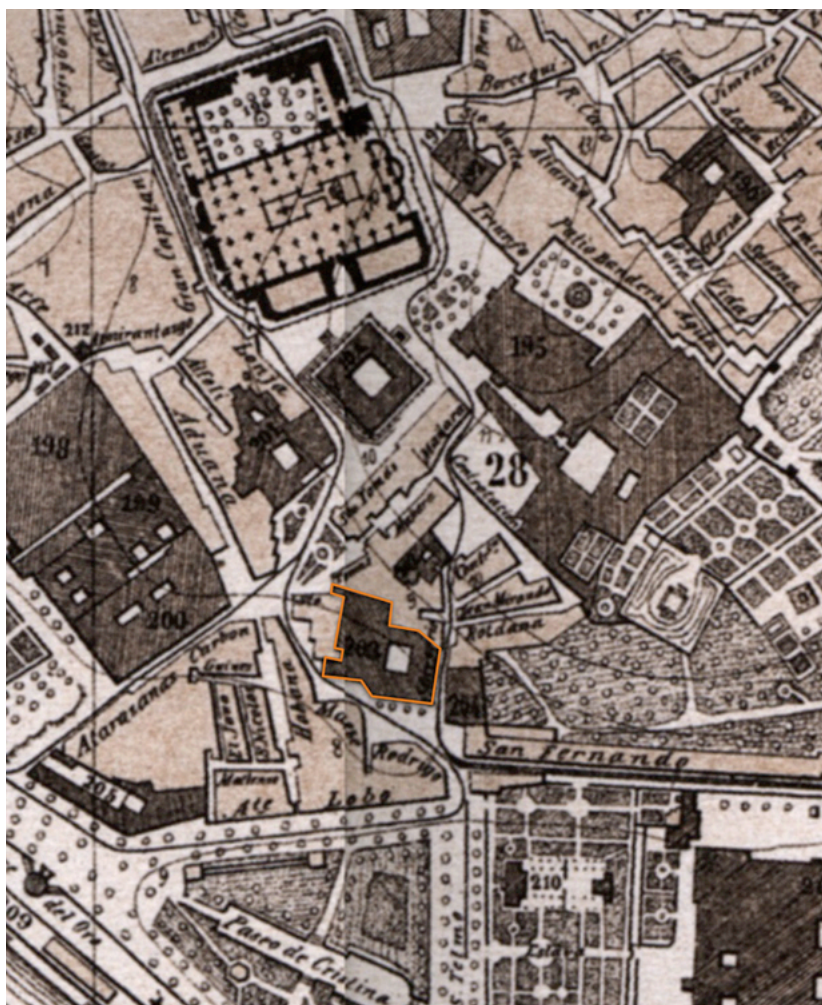


Imagen 01 |

Detalle del plano de Sevilla de 1891, de Antonio Padura y Manuel de la Vega Campuzano. Se representa el conjunto de Santa María de Jesús (destacado en color naranja) en su etapa de seminario conciliar. El edificio aparece dibujado con un solo patio, con un tamaño ligeramente superior al del claustro principal de Santo Tomás e inferior al del patio de la Casa Lonja; no se refleja el segundo patio ni el jardín a los que aluden las descripciones históricas. Fuente: AA. VV., 2002

compás del convento de Santa Clara y fue reconstruida en aquel lugar una década después, formando parte de la adecuación del ámbito de la torre de Don Fadrique para la instalación del Museo Arqueológico municipal, realizada por el arquitecto Juan Talavera y Heredia entre 1921 y 1924.

Además de estos elementos arquitectónicos, se conservan fragmentos historiográficos dispersos de diferente naturaleza. Esta situación plantea un reto apasionante para la recomposición y comprensión del edificio y su evolución. Los testimonios más antiguos que se conservan en el Archivo Histórico de la Universidad aluden al primitivo conjunto como un establecimiento que no disponía de corral o huerta anexa, por lo que experimentó un proceso de crecimiento iniciado en la etapa de colegio y continuado en la de seminario. Pocos años después de su inauguración está documentada la incorporación al colegio en 1526 de un solar de 30 por 60 pies, que pertenecía al Alcázar³.

3

Títulos de propiedad del corral de Jerez. Años 1500-1503. Archivo Histórico de la Universidad de Sevilla (AHUS) Instrumentos 1-5. Leg. 617. n.º 76, 2º.

4

Planos y dictámenes sobre varias dificultades en la planta y sobre el corredor de la librería al jardín. Años 1742-1756. AHUS. Obra de la librería. Leg. 609. 21 a).

5

Expediente formado para aprobar un proyecto de alineación para las calles Cánovas del Castillo, Gran Capitán, Cardenal González, Santo Tomás, Maese Rodrigo y Jerez. Archivo Histórico Municipal de Sevilla (AHMS): Alineaciones. Colección Alfabética, caja 36, expte. 343.

En el siglo XVIII se produce un crecimiento del edificio hacia el espacio público, existiendo constancia de que el municipio concedió al colegio una franja de la calle, de 31 varas de largo y 9 de ancho, para la obra de una nueva librería⁴. En 1864, siendo ya seminario, se le agregó un anexo de nueva planta para ampliar su capacidad residencial, realizado sobre un solar colindante, con una estrecha fachada a la plaza de Santo Tomás. En el curso 1880-81 volvió a ser intervenido para mejorar su amplitud y condiciones de habitabilidad, con obras escasamente documentadas. El entorno urbano del edificio es uno de los más intensamente transformados en Sevilla a comienzos del siglo XX. Como muestra el plano de Padura y de la Vega de 1891 (imagen 1), el acceso a la ciudad desde el sur se producía a finales del XIX a través del ámbito de la puerta de Jerez –demolida en 1864– dando paso a la plaza de Maese Rodrigo, un espacio limitado en su frente norte por la fachada principal del antiguo colegio de Santa María de Jesús. Desde aquí partía zigzagueante la calle Maese Rodrigo hasta alcanzar la plaza de Santo Tomás. Diversas fuentes documentales describen este ingreso a la ciudad como un espacio angosto y tortuoso que provocaba atascos de carruajes, con el consiguiente peligro para los transeúntes.

Al no haber tenido el edificio un uso militar reglado tras la Desamortización, no hemos encontrado planos del mismo en la Cartoteca Militar de Madrid ni en el Archivo Militar Intermedio de Sevilla. No fue incluido en un amplio grupo de inmuebles exclaustrosados que el Cuerpo de Ingenieros Militares dibujó en 1835. Tampoco se conoce que despertara el interés de ningún fotógrafo que a comienzos del siglo XX, ante los rumores de que iba a desaparecer, le dedicase un reportaje, como sucedió poco después con Santo Tomás (fotografiado por González-Nandín en 1924). La Universidad de Sevilla cuenta en su Archivo Histórico con una extensa documentación administrativa que ha permitido realizar importantes investigaciones, pero no dispone de planos ni fotografías del edificio, a excepción de alguna información relativa a las piezas conservadas y dos pequeñas aguas parciales de mediados del XVIII del proyecto de la nueva librería. El proyecto de apertura de la Avenida, de 1906, siguiendo la costumbre de la época, definió solamente el perímetro de la parcela que ocupaba el edificio en esa fecha⁵.

El estudio de los momentos finales de la primera sede de la Hispalense conduce, por un lado, a conocer los entresijos de la producción de nuevas escenas urbanas en la Sevilla de principios del siglo XX, y por otro, a desvelar los trabajos de los profesionales vinculados a la tutela de los monumentos en aquella época, de tanta trascendencia para la ciudad. Su historia nos transporta allí donde van las piedras desmontadas de su vieja portada, para conocer cómo fueron valoradas como fragmento casi arqueológico en el sutil trabajo de Juan Talavera y Heredia en el entorno de la torre de Don Fadrique. Las restauracio-

nes realizadas en la capilla durante el siglo XX, posteriores a la destrucción del primitivo conjunto, han sido analizadas por las hermanas Gómez de Terreros Guardiola, poniendo de relieve los criterios con los que se ha actuado en el monumento.

NUEVA INFORMACIÓN ARQUEOLÓGICA Y PLANIMÉTRICA

Debido a la escasez de documentación gráfica del edificio, hasta la celebración del V centenario de la Universidad de Sevilla en 2005 las investigaciones sobre la arquitectura de su primera sede han tenido que apoyarse en planos y grabados generales para dar una idea aproximada de sus características (TRILLO DE LEYVA, 2002; SANZ SERRANO, 2005a; 2005b). Al poco tiempo de la publicación de estos estudios se han llevado a cabo las excavaciones arqueológicas asociadas a la instalación del transporte público Metrocentro entre 2006 y 2007, que han afectado a su trazado en cumplimiento de la cautela que se aplica a todo tipo de obras en el conjunto histórico, obligando a estudiar la franja afectada desde la plaza Nueva hasta la puerta de Jerez. Se han realizado dos tipos de prospecciones: una más ancha y de menor profundidad, correspondiente al trazado de las vías del metro en superficie, y otra más estrecha y profunda siguiendo la línea de las nuevas instalaciones urbanas. Los hallazgos de estos trabajos, dirigidos respectivamente por los arqueólogos Marcos Hunt Ortiz y María Dolores Martínez López, han quedado documentados en sus respectivas memorias, archivadas en la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía.

Las excavaciones han aportado nuevos datos planimétricos que, aunque se encuentran limitados a la banda investigada, resultan muy

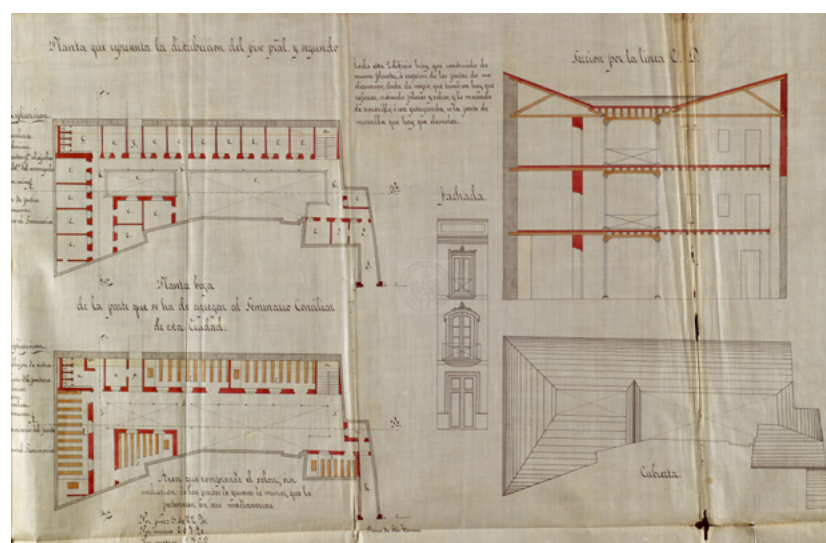


Imagen 02 |

"Proyecto de la obra que debe hacerse en el solar n.º 10, situado en la plaza de Sto. Tomás, para agregarlo al Seminario Conciliar de esta Ciudad y Arzobispado, con el objeto de aumentar las habitaciones de los alumnos", de fecha 2 de diciembre de 1863. Arquitecto Manuel Portillo Navarrete. Plano: Archivo General del Arzobispado de Sevilla (AGAS). Administración. Casas parroquiales y reconstrucciones de templos. Leg. 14545. Expte. 4

6

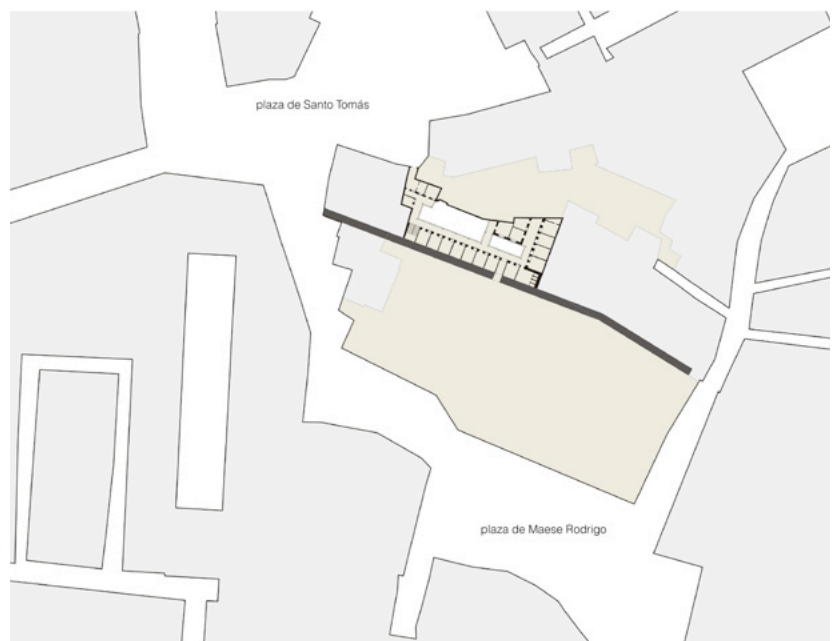
Seminario conciliar. Expediente sobre reparación extraordinaria y ampliación del edificio, 1863-66. Archivo General del Arzobispado de Sevilla (AGAS). Administración. Casas parroquiales y reconstrucciones de templos. Leg. 14545. Expte. 4.

interesantes para avanzar en el conocimiento de los elementos desaparecidos en esta zona por las transformaciones de los siglos XIX y XX. En el inicio de la Avenida desde la puerta de Jerez se han documentado trazas parciales de Santa María de Jesús y un tramo de muralla de época almohade de los siglos XII-XIII, continuación del fragmento visible en la calle San Gregorio. Se confirma la continuidad de dicho tramo –que se encontraba intacto a mediados del XIX– con el proyecto de ampliación del seminario del año 1863 (imagen 2), que se conserva en el Archivo General del Arzobispado de Sevilla⁶. En él se representa la muralla como lindero continuo entre el seminario y la edificación de nueva planta que se añade al edificio, resuelta con una tipología de corral de vecinos. Este plano describe el carácter del tramo de muralla como límite norte del primitivo conjunto de Maese Rodrigo y permite diferenciar la zona correspondiente al antiguo colegio de esta ampliación decimonónica (imagen 3).

Al reunir los datos gráficos conocidos llegamos a una hipótesis de planta de Santa María de Jesús en el último tercio del siglo XIX, en la que puede apreciarse que el lienzo de muralla actuó como preexistencia condicionante de la morfología de esta zona de la ciudad, ya que las edificaciones que se le adosaban reproducían paralelamente su trazado (imagen 4). Esta relación geométrica entre la línea marcada por el muro defensivo almohade y la posición de la capilla, la primera crujía y las trazas parciales encontradas en las excavaciones, demuestra una implantación prácticamente cartesiana del edificio primitivo y sus crecimientos posteriores. Los hallazgos arqueológicos resultan especialmente reveladores en cuanto al tamaño de algu-

Imagen 03 |

Situación de la ampliación del seminario conciliar realizada por el arquitecto Manuel Portillo Navarrete entre 1864 y 1865, indicándose al sur de la muralla el perímetro del antiguo colegio de Santa María de Jesús. Dibujado a partir de la planimetría existente en el expediente del AGAS de la imagen 2. Dibujo: Javier Tejido Jiménez y Francisco Marín Andréu



nas crujías, con dimensiones notables que apuntan a la utilización de estructuras horizontales de cierta potencia, que probablemente fueron resueltas mediante bóvedas de ladrillo o forjados de madera con secciones considerables. Aparece así la crujía de fachada a la plaza de Maese Rodrigo con 6,5 m de ancho, delimitada por sendos muros paralelos de 95 cm de espesor, de ladrillo macizo. Ambas fábricas constituyen la prolongación de los actuales muros de la capilla. Se ha documentado también el ángulo noroeste de un gran patio porticado, con unas dimensiones estimadas por los arqueólogos en 15x11 m. Éste debió ser el segundo claustro del colegio, que en descripciones históricas quedaba citado como un espacio de dimensiones menores al patio principal. El claustro mayor se situaba con toda probabilidad en el lugar sobre el que se asientan los edificios actuales que lindan con la capilla, por lo que no se conocen vestigios del mismo. Con todo ello se puede apreciar que llegó a tratarse de un conjunto con una notable fuerza constructiva y espacial, con mayor desarrollo en sentido este-oeste, ordenado en paralelo al lienzo de muralla, en el que los dos claustros aparecían con naturalidad, permitiendo la iluminación y ventilación de las crujías que los conformaban.

Tras el proceso de crecimiento y sucesivas ampliaciones, la extensión que el conjunto alcanzó fue considerable, siendo de 4.030 m² la parcela que ocupaba antes de su demolición, representada en el proyecto de la Avenida. La superposición del tramo de muralla a dicha parcela permite estimar que al sur de la cerca almohade se situaban casi dos tercios de dicha superficie, 2.700 m² (correspondientes al colegio original y sus ampliaciones dieciochescas), mientras que al



Imagen 04 |

Hipótesis de la planta de Santa María de Jesús en su etapa de seminario conciliar. Fotomontaje realizado sobre ortofoto de Sevilla del año 2007, incorporando las trazas de las manzanas del entorno a finales del siglo XIX y los datos gráficos conocidos del edificio: parcela total que ocupaba, dibujada en el expediente de apertura de la Avenida de 1906, planta de la capilla existente, planta del desaparecido vestíbulo, planta de la antigua sacristía, planta de la ampliación del seminario de 1863 y trazados descubiertos por las excavaciones arqueológicas de 2006-2007, entre los que destacan un fragmento de muralla, trazas parciales de estancias del colegio y una esquina del segundo claustro. A todo ello se añade la figura del patio representado por el plano de Padura de 1891 y una hipótesis del segundo patio basada en las dimensiones estimadas en la memoria de las excavaciones. Aparece una disposición del conjunto apoyada compositivamente sobre la potencia de la muralla, que marcaba una configuración ortogonal articulada por los dos claustros. Dibujo: Javier Tejido Jiménez y Francisco Marín Andréu

7

A estos parámetros podemos añadir las dimensiones hipotéticas de los claustros, que serían de 15x15 m de vacío estimado en el mayor de ellos (según el plano de Padura) y 11x15 m en el menor, según apreciación de la Memoria Arqueológica de 2006.

8

Real Orden publicada en *La Gaceta de Madrid* de fecha 9 de mayo de 1901.

9

Expediente formado con motivo de la ejecución de obras en parte de lo que fue Seminario Conciliar. AHMS. Obras Públicas. Expte. 95/1909.

norte de la misma se situaba el tercio restante, 1.230 m² (correspondientes a los crecimientos decimonónicos del seminario)⁷.

La destrucción de este edificio, clave para la historia de la arquitectura universitaria de Sevilla, se enmarca en la gran operación urbana de apertura de la Avenida, que también sacrificó el centro docente que había rivalizado durante siglos con Santa María de Jesús, el colegio-universidad dominico de Santo Tomás. El trazado de la “gran vía” sevillana supuso la destrucción completa del edificio fundado por Maese Rodrigo y todas sus ampliaciones posteriores, conservándose la capilla, que en 1901 había sido declarada monumento⁸.

EL DEBATE SOBRE LA CONSERVACIÓN DEL VESTÍBULO COLEGIAL

Dos años después de la declaración de la capilla, la Comisión Provincial de Monumentos levantó un acta para reconocer sus elementos de valor y servir como deslinde de propiedad entre la parte que el Arzobispado vendía a Juan Bautista Calvi y la que se reservaba de dicha venta (HAZAÑAS Y LA RÚA, 1909). El acta valoraba no solamente la capilla, sino también el vestíbulo colegial y la sacristía (imagen 5). Se indicaba que el nivel de planta baja del vestíbulo estaba cubierto por una bóveda de cierta categoría, diciéndose textualmente que era “mudéjar plateresca”. También se incorporaba la sacristía como parte de la capilla declarada monumento, aunque se reconocía que no disponía de elementos “dignos de mención”.

Con el edificio en proceso de demolición, en el año 1909 se estableció una intensa polémica entre todos los agentes implicados (Ayuntamiento, Arzobispado, Comisión de Monumentos y promotor), para determinar el tratamiento que debía darse al vestíbulo⁹. El debate se había generado en base a la ambigüedad de la declaración de monumento de 1901, que no explicitaba elementos anejos que debieran conservarse, y su contradicción con el acta de 1903 de la Comisión Provincial de Monumentos, que describía que el monumento estaba compuesto por la capilla, el zaguán y la sacristía. Con todo ello, la protección otorgada por la declaración tuvo efecto estrictamente sobre la capilla, ya que el acta de la Comisión no tuvo fuerza legal para preservar los demás elementos asociados a la misma, que fueron destruidos o modificados.

Mientras se avanzaba en las demoliciones, el vestíbulo permaneció en pie a la espera de que se resolviesen los recursos interpuestos –para protegerlo– por el Arzobispado y la Comisión Provincial de Monumentos ante el Ministerio de Instrucción Pública, al que se le solicitaba una aclaración sobre la declaración de monumento de la

capilla, en el sentido de dictaminar si se consentía o no “el derribo del vestíbulo y la traslación de la portada para reconstruirla en la línea aprobada por el Ayuntamiento para la apertura de una vía a través de aquel edificio”, derribo del que eran partidarios el municipio y el promotor. El Ministerio resolvió la cuestión en noviembre de 1909 con un texto sorprendente, reconociendo unas “compensaciones” que estaría ofreciendo Calvi –como propietario del seminario– ante la Corona por la demolición del vestíbulo: “Vista la urgencia manifestada por la Alcaldía de Sevilla de abrir una calle, cuyo trazado, en uno de sus extremos atraviesa en sentido diagonal el vestíbulo de la capilla del Seminario Conciliar de aquella ciudad, teniendo en cuenta las compensaciones que ofrece el propietario del Seminario por el derribo de dicho vestíbulo, S. M. el Rey ha tenido a bien acceder a lo propuesto por dicho propietario y aceptado por la Comisión de Monumentos de Sevilla, disponiendo en su virtud:

- 1.º Que por cuenta del dueño del Seminario se traslade la artística techumbre del vestíbulo a la segunda crujía actual, labrada en una zona del que fue patio y de propiedad de la Mitra.
- 2.º Que se efectúe la misma traslación con la portada gótica que sirve de ingreso al vestíbulo.
- 3.º Que el dueño mejore y embellezca el Monumento en lo que se refiere a su aspecto y seguridad.”¹⁰

Con semejante resolución se sobreentiende que las acciones de conservación dispuestas por la orden real fueran las “compensaciones” que el promotor ofreció, y cabría suponer que a partir de la resolución quedaban a su cargo. Sin embargo, al ser la Archidiócesis la propietaria del vestíbulo, el Arzobispado se vio obligado a formalizar la solicitud de licencia de derribo del zaguán que había intentado proteger¹¹. De las acciones paliativas que la disposición real había asignado a Calvi no hemos encontrado documentación. Tres años después, José Gómez Millán –como arquitecto provincial del Ministerio de Instrucción Pública– recibió un escrito oficial en el que dicho organismo le encargó en diciembre de 1912 supervisar el desmontaje de la portada y su traslado al Museo Arqueológico municipal:

“Con esta fecha digo al arquitecto Don José Gómez Millán la Real Orden siguiente: S. M. el Rey, de acuerdo en todo con el Dictamen de la Junta facultativa de Construcciones Civiles cuya copia es adjunta se ha servido aceptar el proyecto redactado por V. S. y autorizar la ejecución de las obras en la Capilla del Antiguo Seminario Conciliar de esa localidad, ciñéndose V. S. en su ejecución estrictamente a las indicaciones de dicho cuerpo consultivo, así en lo que respecta a la parte monumental de la Capilla como en lo referente al armado de la portada de piedra en el Museo Arqueológico, para cuyo fin redactará V. S. un presupuesto para su traslación y emplazamiento, poniéndose



Imagen 05 |

Detalle de la portada del antiguo colegio de Santa María de Jesús durante una inundación. La imagen ilustra la descripción de la portada que se realiza en el acta de reconocimiento de 1903 por la Comisión Provincial de Monumentos: “...El vestíbulo consta de piso bajo y alto. La fachada del alto ostenta dos arcos rebajados gemelos, con columna ó baquetón cilíndrico en el centro y buenos capiteles á los lados; en el remate se ve una pequeña hornacina que alojó en tiempos una estatua de la Virgen. El piso bajo tiene para su ingreso un arco de medio punto con baquetones, capiteles y ornamentación ojival”. Foto: Juan Barrera Gómez, corresponsal de la revista *Blanco y Negro*. Fuente: SALAS, 2008: 174

10

Orden del Ministerio de Instrucción Pública de 29 de noviembre de 1912. AHMS. Obras Públicas 95/1909.

11

Solicitud de licencia de derribo del zaguán del edificio que fue seminario conciliar, de 13 de diciembre de 1909. AHMS. Obras Públicas. 95/1909.



Imagen 06 |

La portada de la capilla, de ladrillo visto bícromo con arco conopial encuadrado en alfiz, fue durante cuatro siglos puerta interior, situada lateralmente en el zaguán del acceso al colegio. Pasó a comportarse como portada externa cuando se produjo la demolición del vestíbulo. Foto: Javier Tejido Jiménez, 2015

12

Oficio de 2 de diciembre de 1912 por el que el Gobierno Civil de Sevilla traslada a José Gómez Millán la Orden del Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes de 9 de noviembre en la que se le indica que proceda al traslado de la portada al Museo Arqueológico. En Expediente formado con motivo de la ejecución de obras en parte de lo que fue seminario conciliar. AHMS. Obras Públicas 95/1909.

previamente de acuerdo con el Director de dicho Centro y remitiéndole a este Ministerio para su aprobación¹².

Con los datos de que disponemos, deducimos que a partir de la demolición del colegio en 1909 se produjo una situación provisional durante la cual el vestíbulo se mantuvo junto a la capilla durante algunos meses, al menos hasta el dictamen del Ministerio de Instrucción Pública de finales de ese año, quedando en pie el arco inferior de la portada al menos hasta finales de 1912 (fecha en la que Gómez Millán recibió la orden de proceder a su desmontaje, traslado y armado en el Museo Arqueológico), no teniéndose conocimiento del tiempo que tardaría el arquitecto en atender la petición del Ministerio. No se tiene constancia de que la ventana geminada superior de la portada colegial ni el techo abovedado del vestíbulo se reciclaran de manera semejante al arco de la planta baja. Sí se conoce la fecha en la cual ya se había producido la desaparición del vestíbulo completo, por un escrito de Juan Bautista Calvi dirigido al Ayuntamiento en enero de 1917, en el que indicaba que había “entrado en línea lo que fue zaguán del anti-

guo Seminario"¹³, dando a entender que para esa fecha ya había sido desmontada la portada y demolido el zaguán.

Desde un punto de vista arquitectónico, la intervención que se había realizado en favor de la apertura de este primer tramo de la Avenida había consistido en tomar un edificio relativamente complejo de principios del quinientos –época de la que han llegado hasta nosotros escasos y singulares ejemplos–, con todas sus agregaciones posteriores de los siglos XVIII y XIX, y proceder a la demolición de todo el conjunto a excepción de su pequeño templo. La desaparición del vestíbulo supuso que la puerta mudéjar de ladrillo bícromo de la capilla (que había sido siempre una portada interior vinculada al zaguán colegial) pasara a mostrarse directamente al espacio público generado por tan potente intervención (imagen 6).

TRASLADO DE LA PORTADA AL COMPÁS DEL CONVENTO DE SANTA CLARA

En el año 1912 el Museo Arqueológico municipal se encontraba establecido en las Casas Consistoriales, con importantes problemas de espacio (GARCÍA ALFONSO, 1995), por lo que los componentes de la portada se llevaron al compás del convento de Santa Clara, que venía sirviendo como depósito de piezas que no tenían cabida en el Ayuntamiento. La valoración patrimonial de la torre de Don Fadrique y su espacio circundante, antigua huerta del convento de Santa Clara, se inició en 1905 por iniciativa de la Comisión Provincial de Monumentos¹⁴. Los académicos que la integraban tenían conocimiento de que las necesidades económicas de la comunidad religiosa la estaban obligando a vender bienes muebles e inmuebles¹⁵, habiéndose desprendido ya de algunas porciones de la antigua huerta, que no habían afectado a la torre¹⁶. Temiendo que la comunidad la vendiese, y al pasar a manos privadas la singular construcción medieval pudiese desaparecer, la Comisión de Monumentos emprendió dos acciones para intentar su conservación. La primera fue sugerir al Ayuntamiento su adquisición (LÓPEZ RODRÍGUEZ, 2010). La otra vía consistió en solicitar que fuese declarada monumento nacional, presentando ante el Ministerio un informe de Rodrigo Amador de los Ríos en el que se exponían sus valores históricos y artísticos¹⁷.

Teniendo en cuenta la precariedad del Museo Arqueológico municipal instalado en las Casas Consistoriales, así como la necesidad de protección de la torre, el Ayuntamiento intentó resolver ambos problemas a la vez, adquiriendo la torre y su espacio circundante para instalar allí el museo (imagen 7). A esta decisión se incorporó además la idea de permeabilizar la manzana del convento en sentido este-oeste, por lo que se incluyó en el plan general de obras y refor-

13

AHMS. Construcciones y Reconstrucciones 2-3-50, año 1909. Expediente formado para reconstruir el antiguo seminario conciliar.

14

Real Academia de Bellas Artes de Santa Isabel de Hungría (RABASIH). Archivo de la Comisión, 7ª. Sevilla, Edificios y Monumentos, 1º/1. p.146.

15

AGAS. Gobierno de órdenes religiosas femeninas, clausura. Leg. 73, exp.1. Sevilla. Convento Santa Clara. Instancias, solicitudes, enajenaciones de bienes, patronatos. 1811-1923. En el expediente aparecen documentos manuscritos que mencionan a José Gestoso como tasador de puertas talladas que las monjas venden en 1908, y como tasador de tapices que venden en 1910.

16

En el expediente del AGAS antes citado aparecen documentos que informan de ventas de porciones de la huerta realizadas en 1908 y 1909.

17

RABASIH, Actas de la Comisión Provincial de Monumentos, libro III, sesión de 12 de octubre de 1905.



Imagen 07 |

Torre del Infante Don Fadrique. Autor desconocido, Años 1906-1910. La imagen muestra la antigua huerta, con las construcciones que la rodeaban, antes de la intervención de Talavera. Foto: Colección Thomas del Instituto de Estudios Fotográficos de Cataluña. n.º ACM-3A-2652v

18

AHMS, Actas Capitulares. Acta de la sesión de 27 de marzo de 1918.

19

Expediente formado para adquirir la torre de Don Fadrique y terrenos que le son anexos. AHMS, Obras Públicas, 115/1918.

20

La comunidad de Santa Clara recibió la autorización del Arzobispado para realizar la venta el 22 de noviembre de 1918. El acuerdo del Ayuntamiento con la comunidad y con José León fue ratificado por el Cabildo Municipal en sesión de 28 de diciembre de 1918. AHMS, Obras Públicas, 115/1918.

mas de la ciudad la apertura de una comunicación entre las calles Becas y Santa Clara a través de la huerta y compás del convento, aprobado por acuerdo capitular en marzo de 1918. Se trataba de una sucinta aprobación que no aportaba ninguna reflexión urbana ni definía la conexión, y que citaba literalmente la decisión de “prolongar la calle Becas a través de la huerta del convento de Santa Clara, hasta dar salida a la calle de este nombre...”¹⁸. Los primeros pasos efectivos para llevar a cabo la idea de permeabilizar la manzana se realizaron en julio de 1918, designando la Comisión municipal de Obras Públicas a dos capitulares como ponentes de la propuesta de adquisición de la torre y terrenos anexos, los cuales iniciaron gestiones con la comunidad de religiosas y con el propietario José León, que había comprado a las monjas algunos terrenos de la huerta, que ahora interesaban al proyecto municipal, todo ello con objeto de conservar el monumento y alojar en aquel lugar y en unas dependencias de planta baja cedidas por la comunidad religiosa las piezas de la colección. En noviembre de 1918 Juan Talavera y Heredia –actuando como arquitecto municipal– elaboró un plano y una memoria en la que exponía la idea de instalar allí el Museo Arqueológico municipal, aunque no hacía mención de la conexión con Becas¹⁹. En el plano recogió la comunicación del entorno de la torre con el compás del convento, que a su vez conectaba con la calle Santa Clara (imagen 8). Aunque el plano es un simple deslinde de propiedades, se incorporan algunas intenciones proyectuales para ir dando forma al espacio que rodeaba a la torre, llevadas a cabo con una herramienta tan sencilla como potente: la modificación del límite de propiedad. Se proponía añadir al ámbito de actuación una franja de terreno que pertenecía a José León para conseguir que la posición relativa de la torre en su recinto definitivo fuese centrada y simétrica, intención que se recogió literalmente en el documento de acuerdo al que llegaron los representantes municipales con la comunidad de religiosas y con José León²⁰.

En el acuerdo no aparecía rastro alguno de la pretendida conexión con la calle Becas, y se hacía alusión a la intención de cerrar “artísticamente” el acceso al recinto desde el compás, en referencia a la posibilidad de recomponer la antigua portada del colegio de Maese Rodrigo como entrada al recinto museístico (imagen 9). Quedaba aparentemente desechada la idea de permeabilidad entre las calles Becas y Santa Clara. La lectura del expediente transmite la sensación de que al enfrentarse los capitulares delegados y el propio Talavera al espacio interior del entorno de la torre y considerar la necesidad de custodia de los elementos arqueológicos que iban a exponerse, se inclinaron –sin expresarlo abiertamente en los documentos– por una única apertura desde la calle Santa Clara a través del compás del convento. Sin embargo, en algún documento posterior, como la comunicación al Gobierno Civil de todo lo acordado, se siguió haciendo referencia a la conexión con Becas, probablemente para conseguir la declara-

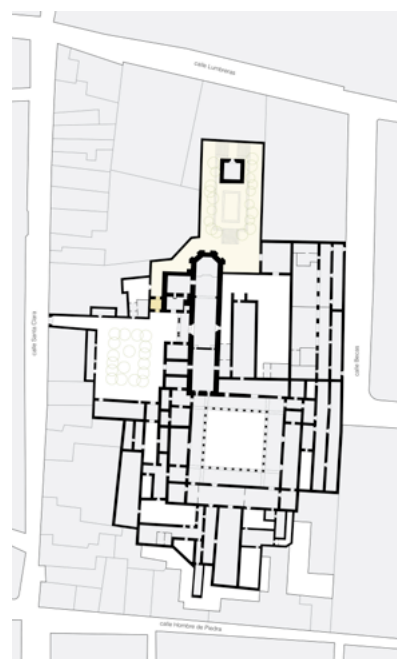
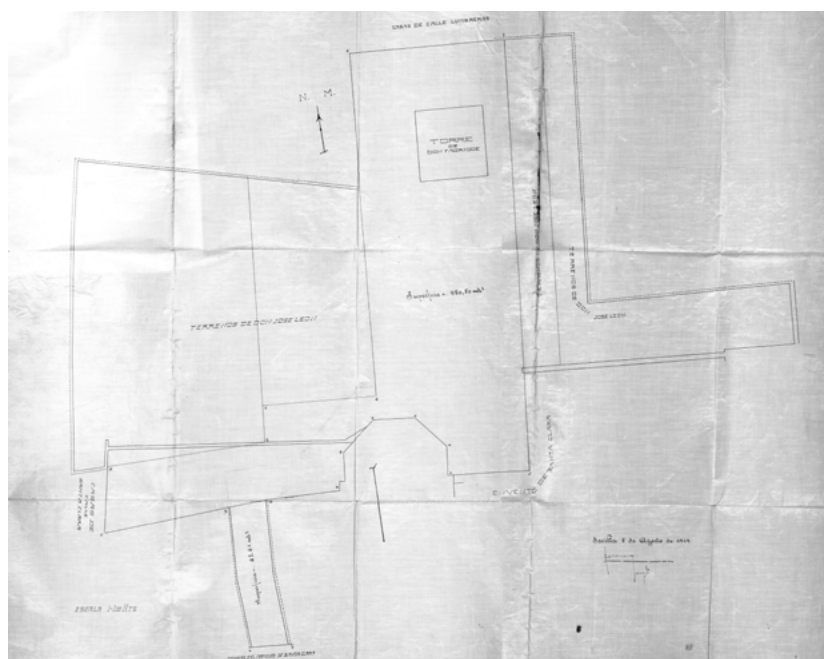


Imagen 08 |

Plano del entorno de la torre de Don Fadrique, 1918. Obras Públicas, 115/1918. Arquitecto Juan Talavera y Heredia. El plano indica la parte de suelo que el Ayuntamiento adquiriría a José León. Plano: © ICAS-SAHP, Archivo Municipal de Sevilla

Imagen 09 |

Situación de la portada del antiguo colegio de Santa María de Jesús en el compás del convento de Santa Clara. Dibujo: Javier Tejido Jiménez y María Luisa Ovelar García

ción de utilidad pública de la intervención, y que le fuesen aplicables al Ayuntamiento los beneficios de la Ley de Expropiación Forzosa de 1879. El verano siguiente Talavera elaboró un nuevo plano fechado en agosto de 1919, con objeto de describir los linderos del suelo que se le compraba a la comunidad y del que se le permutaba a José León. La memoria anexa indicaba que el Ayuntamiento adquiriría también el derecho de acceso a través del compás, sin limitación alguna para esta servidumbre de paso²¹.

La idea de conectar el espacio de la torre con la calle Becas fue definitivamente abandonada cuando, en reunión de pleno municipal de 9 de julio de 1920, el Ayuntamiento acordó adquirir una nueva parcela del convento, con fachada a la calle Becas, para construir unas escuelas²². El proyecto de la escuela, redactado por Talavera en 1920, incluía una sala para uso del Museo Arqueológico y no incorporaba tránsito alguno al espacio de la torre desde Becas. Además, la comunidad religiosa estableció una serie de condiciones para verificar la venta de este suelo, entre las que destacaban que el muro divisorio entre propiedades tendría siempre carácter medianero, y que no se proyectarían en los límites con el convento azoteas ni ventanas, porque así lo exigía la clausura. En octubre de 1921, con la escuela municipal ya construida (que cerraba el contacto con la calle Becas), Talavera remitió a la Alcaldía un oficio de gran interés, en el que exponía las líneas generales de la intervención que planteaba en la torre y su entorno, y que podemos considerar la memoria descriptiva del proyecto que finalmente ejecuta (imagen 10), proponiendo situar como

21

La escritura de la compraventa se firmó ante el notario Blanco Ruiz el 30 de marzo de 1920.

22

Expediente formado para adquirir una parte del convento de Santa Clara con destino a la construcción de escuelas. AHMS, Obras Públicas n.º 86, del año 1920.

23

Oficio remitido por Talavera a la Alcaldía explicando la intervención. AHMS, Obras Públicas, 115/1918.

entrada a todo el espacio intervenido la portada de Santa María de Jesús:

“Ante la torre debe efectuarse una excavación hasta su plano de asiento que permite admirarla en toda su esbeltez desde un punto de vista situado a una distancia apropiada, en consonancia con su altura. Las aguas de este plano pueden ser recogidas en un estanque que al mismo tiempo servirá para que en él se refleje la silueta de la torre, dándole una mayor belleza. En esta excavación, que rodeando toda la torre se extenderá principalmente frente al muro opuesto a su puerta de entrada, se construirán unos muros de mampostería concertada para contener las tierras, y se dará acceso a ella por una gran escalinata construida en su frente. Sobre estos muros de contención serán colocadas barandas de hierro y columnas de piedra que con otras que se sitúen inmediatas a los muros que cierran los terrenos, servirán para formar unas galerías cubiertas con rosales y enredaderas, utilizando en ellas los capiteles existentes en el Museo Municipal. Completaría esta parte del proyecto la construcción de arriates y bancos de ladrillo o piedra. En la entrada por el Compás del Convento de Santa Clara deberá ser colocada la histórica portada del antiguo seminario, cuyas piedras se encuentran hoy diseminadas por aquel Compás...”²³.

Cuando Talavera escribió esta memoria en 1921 ya había realizado la demolición de la casa del compás que permitía abrir el acceso al espacio museístico y había abierto una cata para conocer la profundidad y estado de cimentación de la torre. A los pocos meses, procedió al replanteo de los linderos definitivos entre el suelo adquirido

Imagen 10 |

Dibujo de Talavera del proyecto de restauración de la torre de Don Fadrique. En esta acuarela, que debe ser de algunos años anteriores, se ilustra la idea de espacio arqueológico ajardinado con estanque, sin introducir aún el rebaje de cota para hacer visible la torre en toda su altura. Fuente: Diario ABC de fecha 18 de enero de 1925, p. 4



por el Ayuntamiento y el de José León, levantando un plano (imagen 11) y redactando una memoria, en la que indicaba que dicho propietario tenía labrados unos muros que en la nueva situación pasaban a ser medianeros. Con estas condiciones de contorno consolidadas, Talavera proponía una intervención en la que la simetría de la torre dentro del recinto ya estaba previamente conseguida por la banda de suelo que él mismo había indicado que se comprara tres años antes. El Cabildo Municipal aprobó la ejecución de los trabajos descritos por Talavera en octubre de 1921. La intervención generó una envolvente de altura constante, al objeto de controlar la aparición aleatoria –y previsiblemente cambiante con el tiempo– de la medianería hacia el interior del espacio que preside la torre, que quedó destacada por el estanque de proporciones rectangulares en el que se refleja su silueta, encajado en la cota más baja del rebaje realizado para mostrarla en toda su altura (imagen 12). Alberto Villar Movellán (1977), en su biografía de Talavera, aporta el siguiente comentario sobre la intervención: “La ordenación de su entorno con un estanque, jazmines y naranjos en ese trozo recoleto y silencioso del Monasterio de Santa Clara, es una de las soluciones Talaveranas más acertadas. Hay ante todo una preocupación por crear un ambiente que acoja y embellezca al monumento”.

Como preludio de este ámbito se incorporó la parte baja de la portada del colegio de Santa María de Jesús, para ejercer la función de puerta del Museo Arqueológico de la ciudad. La comparación entre el estado inicial (imagen 13) y transformado (imagen 14) permite comprobar cómo Talavera decidió ubicar la portada del colegio en un plano más retrasado al de la alineación de la casa que demolía, paramentando la

Imagen 11 |

Plano de replanteo de los muros de delimitación del entorno de la torre de Don Fadrique, 1921. Obras Públicas, 115/1918. Arquitecto Juan Talavera y Heredia. Plano: © ICAS-SAHP, Archivo Municipal de Sevilla

Imagen 12 |

Torre de Don Fadrique. Hacia 1924-25. Foto: Fototeca del Laboratorio de Arte de la Universidad de Sevilla, n.º reg. 004657

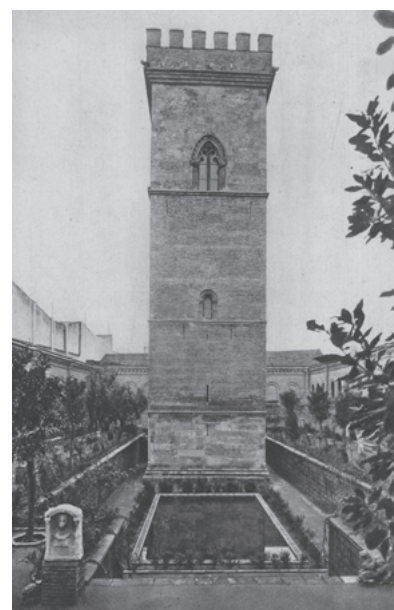
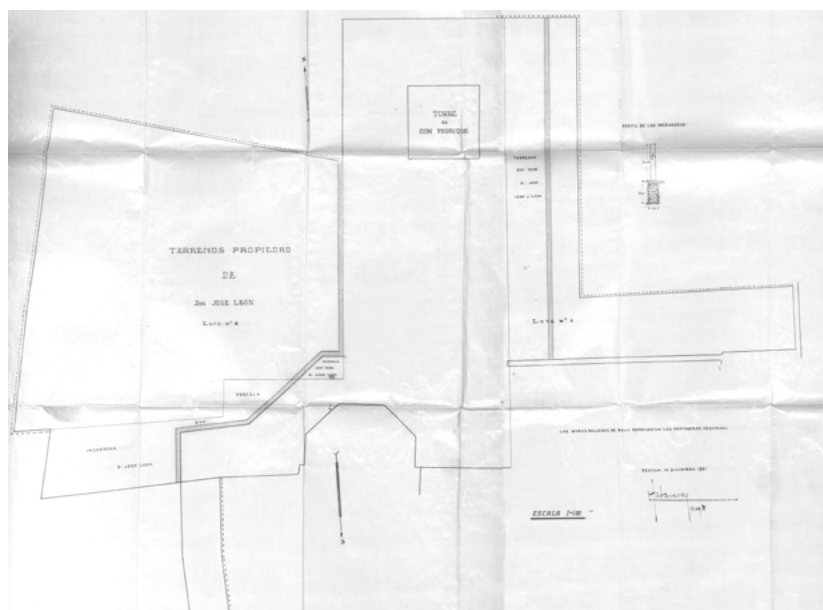




Imagen 13 |

El compás del convento de Santa Clara en 1919. La imagen muestra el aspecto de esta zona antes de la intervención de Talavera; la construcción que aparece en primer plano con dos pequeñas ventanas fue demolida para abrir el acceso a la zona de la torre de Don Fadrique. Foto: José Barraca. Fototeca del Laboratorio de Arte de la Universidad de Sevilla, n.º reg. 3-726

cara exterior de la portada recompuesta con el muro lateral del atrio de la iglesia del convento. Esta posición estaba condicionada geoméricamente por la altura de la sillería que se reconstruía y por la voluntad de restituir el plano inclinado del tejado. Colocarla más adelantada hubiese obligado a emplear una solución de cubierta más forzada. La posición elegida permitió a Talavera dar realce a la contemplación de la serliana del atrio de la iglesia, y supuso la renuncia a presentar el elemento trasladado en un plano más visible, lo que añadió un carácter recóndito a la aparición de la portada en el espacio del compás (imagen 15).

CONCLUSIONES

La primera sede de la Universidad de Sevilla se enfrentó a principios del siglo XX a una tendencia de intervención urbana muy empleada en toda Europa, las grandes aperturas de ejes y vías de acceso en los centros históricos, realizadas mediante la demolición de tejidos urbanos preseleccionados. El conjunto se encontraba en mitad de la línea de apertura trazada en el año 1906 desde la plaza de San Francisco



Imagen 14 |

El compás del convento de Santa Clara en 1924. La portada del antiguo colegio de Santa María de Jesús aparece ya instalada en el espacio que ocupaba la construcción demolida para abrir el acceso. Foto: José María González-Nandín y Paul. Fototeca del Laboratorio de Arte de la Universidad de Sevilla, n.º reg. 3-2448

hasta la puerta de Jerez y fue sacrificado en aras de la creación de una gran vía hacia el sur, sostenida en su momento como absolutamente necesaria y deseada por múltiples estamentos sociales y políticos, que conectó el centro urbano con los nuevos espacios de desarrollo vinculados al puerto y al proyecto de la Exposición Iberoamericana. La capilla de Santa María de Jesús ha quedado como testimonio de aquel complejo edificio y de una trama desaparecida de la ciudad del quinientos, un tanto desconectada de la mayor escala vertical adquirida por el entorno de la puerta de Jerez.

La portada colegial no fue objeto de un traslado riguroso y ordenado, dirigido a recolocarla de inmediato en su ubicación definitiva, sino que siendo desmontadas sus piezas de sillería de la situación original, fueron llevadas a Santa Clara, como si se tratara de fragmentos arqueológicos a la espera de una anastilosis. Tal como indicaba Talavera en su oficio, “cuyas piedras se encuentran hoy diseminadas por aquel Compás”, las dovelas y sillares se trasladaron a este lugar –al igual que los elementos pétreos de otros edificios– a la espera de ordenación y mejor acomodo. En el compás del convento quedaron



Imagen 15 |

Portada del antiguo colegio de Santa María de Jesús reconstruida por Juan Talavera y Heredia en el compás del convento de Santa Clara como acceso al Museo Arqueológico Municipal. Foto: José María González-Nandín y Paul. 1924. Fototeca del Laboratorio de Arte de la Universidad de Sevilla, n.º reg. 3-2446

depositados los sillares hasta que en 1922 Talavera realizó la reconstrucción de la portada, que no llegó a disponer de la planta noble de la fachada primitiva, ni tampoco de la bóveda plateresca del vestíbulo colegial, elementos ambos que probablemente no llegarían nunca a Santa Clara, dada la dificultad de reciclaje de los mismos. Este tipo de intervención de traslado, que implicaba la valoración de un fragmento edificatorio para su reutilización en otro contexto diferente, lejos de constituir una excepción, resultó frecuente en la práctica profesional del primer tercio del siglo XX. En la obra del propio Talavera podemos citar el traslado de la portada de la antigua parroquia de Santa Lucía a la parroquia de Santa Catalina, fechada por Villar Movellán en 1925. El antecedente más singular de este tipo de operación fue la reubicación de la portada del Palacio de Marchena del Duque de Arcos en el Alcázar de Sevilla, realizada en 1913 por Vicente Traver como arquitecto de la Comisaría Regia de Turismo.

BIBLIOGRAFÍA

AA. VV. (1992)

Planos de Sevilla: colección histórica (1771-1918). Sevilla: Servicio de Publicaciones del Ayuntamiento de Sevilla y Editorial MAD S. L., 1992

AGUILAR PIÑAL, F. (1969)

La Universidad de Sevilla en el siglo XVIII: estudio sobre la primera reforma universitaria moderna. Sevilla: Universidad de Sevilla, 1969

AGUILAR PIÑAL, F. (1991)

Historia de la Universidad de Sevilla. Sevilla: Universidad de Sevilla, 1991

ESPIAU EIZAGUIRRE, M. (1991)

La Casa de la Moneda de Sevilla y su entorno: historia y morfología. Sevilla: Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía y Universidad de Sevilla (Colección Kora; n.º 1)

GARCÍA ALFONSO, E. (1995)

Museos arqueológicos de Andalucía. Málaga: Ágora, 1995

GÓMEZ DE TERREROS GUARDIOLA, M.^a V.; GÓMEZ DE TERREROS GUARDIOLA, M.^a G. (2009)

La Capilla sevillana de Santa María de Jesús. Obras y restauraciones. En *Actas del XI Simposio Internacional de Mudejarismo*. Teruel: Instituto de Estudios Turolenses, Centro de Estudios Mudéjares, 2009, pp. 87-106

GONZÁLEZ DE LEÓN, F. (1844)

Noticia artística, histórica y curiosa de todos los edificios públicos, sagrados y profanos de esta Muy Noble, Muy Leal, Muy Heroica e Invicta Ciudad de Sevilla. Sevilla: Imprenta Hidalgo, José y Compañía, 1844

HAZAÑAS Y LA RÚA, J. (1909)

Maese Rodrigo: 1444-1509. Sevilla: Librería é Imprenta de Izquierdo y Compañía, 1909

HUNT ORTIZ, M. (2008)

Memoria Científica final de la Intervención Arqueológica preventiva del Metro Ligerero Centro "Metrocentro". Sevilla: Archivo de la Delegación Provincial de la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía. Documento inédito

LÓPEZ RODRÍGUEZ, R. (2010)

La Comisión de Monumentos Históricos y Artísticos de la provincia de Sevilla. Sevilla: Diputación Provincial de Sevilla, 2010

MARTÍNEZ LÓPEZ, M. D. (2009)

Memoria Final de la Intervención Arqueológica preventiva

en redes de Emasesa en Plaza Nueva, Avda. de la Constitución, Puerta de Jerez, calle San Fernando, Avda. Carlos V y Diego de Riaño. Sevilla: Archivo de la Dirección General de Bienes Culturales de la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía. Documento inédito

OLLERO PINA, J. A. (1993)

La Universidad de Sevilla en los siglos XVI y XVII. Sevilla: Universidad de Sevilla y Fundación Focus, 1993

SALAS, N. (2008)

Sevilla desaparecida: álbum de la destrucción de la ciudad (siglos XIX y XX). Sevilla: Guadalturia, 2008

SANZ SERRANO, M. J. (1984)

La portada del Colegio de Santa María de Jesús. *Revista Archivo Hispalense*, n.º 204, 1984, pp. 191-196

SANZ SERRANO, M. J. (2005a)

Imágenes de la primitiva Universidad de Sevilla. Laboratorio de Arte. *Revista del Dpto. de Historia del Arte de la Universidad de Sevilla* [en línea], n.º 18, 2005, pp. 89-106 <<http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2205498>> [Consulta: 01/12/2015]

SANZ SERRANO, M. J. (2005b)

La Capilla de Santa María de Jesús. En SERRERA CONTRERAS, R. M.^a; SÁNCHEZ MANTERO, R. (coord.) (2005) *La Universidad de Sevilla: 1505-2005 (V Centenario)*. Sevilla: Universidad de Sevilla y Fundación El Monte, 2005

TRILLO DE LEYVA, J. L. (ed.) (2002)

Universidad y ciudad. Arquitectura de la Universidad Hispalense. Sevilla: Universidad de Sevilla, 2002

VILLAR MOVELLÁN, A. (1977)

Juan Talavera y Heredia Arquitecto (1880-1960). Sevilla: Diputación Provincial de Sevilla, 1977ww

Innovación y gestión de la conservación preventiva en museos: un ejemplo con colecciones de vidrio y materiales cerámicos

Manuel García Heras 01| M.ª Ángeles Villegas Broncano 01|

La conservación preventiva en instituciones museológicas no ha sido una realidad hasta la resolución de Vantaa (Finlandia) del año 2000, auspiciada por el ICCROM. Se define como una estrategia basada en un método de trabajo sistemático para identificar, evaluar y controlar los riesgos de deterioro que pueden afectar a los bienes culturales. Por tanto, es un proceso en el que no es necesario intervenir de forma directa en los mismos. En España, esta estrategia quedó recogida en el Plan Nacional de Conservación Preventiva aprobado por el Ministerio de Cultura en 2011, aunque todavía apenas se ha desarrollado en muchos de los museos españoles.

En este artículo se presenta una propuesta metodológica innovadora sobre conservación preventiva en museos y su aplicación, como ejemplo, en colecciones de vidrio y materiales cerámicos. Estos materiales, sobre todo el vidrio, son especialmente sensibles a las condiciones medioambientales (acidez, humedad relativa y temperatura), por lo que una adecuada estrategia de conservación preventiva debe ser capaz de ralentizar al máximo su ritmo de deterioro.

Palabras clave

Conservación preventiva | Material cerámico | Museos | pH ambiental | Sensores Sol-Gel | Vidrio |

Innovation and management of preventive conservation in museums: an example with collections of glass and ceramic materials

Manuel García Heras 01| M.ª Ángeles Villegas Broncano 01|

Preventive conservation in museological institutions has not been a reality until the resolution of Vantaa (Finland) in the year 2000, sponsored by ICCROM. It is defined as a strategy based on a systematic method of work to identify, assess, and control risks of deterioration which may affect cultural goods. Therefore, it is a strategy in which it is not necessary a direct intervention on these goods. In Spain, this strategy was introduced in the National Plan of Preventive Conservation approved by the Ministry of Culture in 2011, although it has still barely developed in much of the Spanish museums.

This paper presents an innovative methodological proposal on preventive conservation in museums and its application, as an example, to collections of glass and ceramic materials. These materials, above all glass, are especially sensitive to environmental conditions (acidity, relative humidity and temperature). Consequently, an adequate strategy of preventive conservation must be able to slow down, as much as possible, their rate of deterioration.

Keywords

Preventive conservation | Ceramic material | Museums | Environmental pH | Sol-Gel sensors | Glass |

URL de la contribución <<http://www.iaph.es/phinvestigacion/index.php/phinvestigacion/article/view/89>>

INTRODUCCIÓN

La conservación preventiva en museos

La conservación preventiva es un pilar básico de la gestión museológica. De ella depende el mantenimiento de las colecciones de forma adecuada, viable y sostenible en el tiempo (BACHMANN, 1992). Se define como una estrategia basada en un método de trabajo sistemático que tiene por objeto identificar, evaluar y controlar los riesgos de deterioro de los bienes culturales. Estos riesgos suelen ser de naturaleza externa al bien cultural y proceden principalmente del medioambiente circundante. Es una estrategia de conservación que no requiere la intervención directa en los bienes culturales. Este aspecto la diferencia de la conservación curativa, en la que sí es necesario intervenir en el propio bien cultural de forma urgente para evitar su pérdida o deterioro irreversible. Es por tanto una estrategia preventiva que intenta ralentizar al máximo el ritmo de deterioro de los bienes culturales siendo, en consecuencia, más eficaz y económica que la conservación curativa (ASHLEY-SMITH, 1999).

En un museo los agentes que más influyen en la conservación preventiva de sus colecciones son las condiciones microclimáticas y la presencia de contaminantes, tanto en interior como en exterior. Entre las condiciones microclimáticas más importantes se encuentran la temperatura, la humedad relativa, la iluminación, el ruido y las vibraciones (THOMSON, 2008). En el interior de un museo, es decir, dentro del edificio que lo contiene, en los espacios dedicados a fondos y almacenes, así como en las vitrinas expositivas, los principales contaminantes son los ácidos acético y fórmico que emiten ciertas maderas, adhesivos, resinas y siliconas; mientras que en el exterior, la presencia de contaminantes viene dada por el carácter urbano, industrial, rural o marino del entorno en el que se sitúa el museo.

Los contaminantes de origen externo más importantes son dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), ozono (O₃) y sulfuro de hidrógeno (H₂S). Muchos de estos contaminantes no son especialmente peligrosos por sí solos. Sin embargo, cuando se combinan con una elevada humedad relativa se produce un efecto sinérgico que aumenta muy considerablemente el riesgo de degradación por encima de la suma de los efectos individuales. Los contaminantes de naturaleza ácida suponen un importante riesgo para la conservación de la mayoría de los materiales presentes en muchas colecciones museológicas (sobre todo metales, vidrios, tejidos, papel, etc.), que pueden traducirse en alteraciones, deterioro, degradación y corrosión, según la naturaleza del material y los niveles de dichos contaminantes presentes en el ambiente (HATCHFIELD, 2002).

Estrategias comunes sobre conservación preventiva

Los aspectos sobre conservación preventiva solo han recibido un impulso notable en las dos últimas décadas desde organismos como el Consejo Internacional de Museos (conocido por sus siglas en inglés ICOM) o el Centro para el Estudio de la Conservación y Restauración de los Bienes Culturales (ICCROM en sus siglas en inglés). Este último organismo promovió la reunión de Vantaa (Finlandia) en el año 2000, en la que se sentaron las bases para una estrategia común europea para la conservación del patrimonio cultural (EUROPEAN, 2000; GARCÍA FERNÁNDEZ, 2014: 9). Respecto a la conservación preventiva en museos se adoptaron cuatro líneas de actuación principales:

- 1) Planificación institucional. Las instituciones responsables de la preservación del patrimonio cultural deben establecer prioridades en conservación preventiva basadas en estudios en museos con colecciones públicas, que den lugar a normas y especificaciones técnicas.
- 2) Estrategias de desarrollo. Esta línea debe acometer la implantación de estrategias de conservación preventiva en museos a través de grupos multidisciplinares de dentro y fuera de las instituciones museológicas, con el fin de realizar estudios de evaluación de riesgos.
- 3) Formación de especialistas. Pretende promover el conocimiento de la conservación preventiva mediante cursos de postgrado y crear estímulos para que se lleve a cabo investigación básica y aplicada sobre ello.
- 4) Difusión y sensibilización social. Tiene por objeto el intercambio de información sobre conservación preventiva a través de tecnologías de la información como internet y de congresos y reuniones nacionales e internacionales.

En España, esta estrategia común se adoptó en el primer Plan Nacional de Conservación Preventiva, que se aprobó en marzo de 2011 por el entonces Ministerio de Cultura (en la actualidad Ministerio de Educación, Cultura y Deporte) (PLAN, 2011). En este plan se recogen, once años después, todas las líneas de actuación adoptadas en la reunión de Vantaa mencionadas en los cuatro puntos anteriores (GARCÍA FERNÁNDEZ, 2014: 13-14).

Gestión de la conservación preventiva

La evaluación de las características ambientales de un museo, tanto en exterior como en interior, puede ser un instrumento útil para conocer los riesgos potenciales de degradación de los bienes culturales que conforman sus colecciones (HERRÁEZ; ENRÍQUEZ DE SALAMANCA; PASTOR ARENAS et ál., 2014: 101-116). Este instrumento puede servir para cubrir las necesidades de investigación sobre conservación en museos en España. Si además se diseña y

desarrolla un nuevo protocolo de seguimiento y control de la acidez ambiental, se aporta una metodología innovadora que puede identificar, evaluar, controlar y minimizar riesgos de deterioro medioambiental por choque ácido en colecciones alojadas en museos. Pues bien, estos aspectos son los que cubren los objetivos de un proyecto de investigación del Ministerio de Economía y Competitividad sobre “Nuevas metodologías en la gestión museológica. Una implementación del Plan Nacional de Conservación Preventiva”, que se está llevando a cabo actualmente (Ref. HAR2012-30769). Asimismo, el proyecto cumple con las cuatro líneas de actuación principales adoptadas en la reunión de Vantaa (EUROPEAN, 2000), por cuanto se realiza en museos que poseen colecciones públicas, se lleva a cabo un estudio de evaluación de riesgos por un equipo multidisciplinar (historiadores, químicos y conservadores), se hace investigación aplicada en conservación preventiva y se difunde en congresos que luego dan lugar a publicaciones.

La conservación preventiva en colecciones de vidrio y materiales cerámicos como ejemplo

Aunque existen museos monográficos dedicados a un solo objeto o material, son numerosos los que albergan colecciones muy variadas compuestas por materiales de muy distinta naturaleza. Es por ello por lo que este trabajo se ha centrado, como ejemplo, en sólo un par de tipos de material: el vidrio y la cerámica.

Las colecciones de vidrio y materiales cerámicos alojadas en un museo deben gestionarse, lógicamente, desde la perspectiva de la conservación preventiva (ZIVKOVIC; DZIKIC, 2015). Los parámetros idóneos para este tipo de materiales reseñados en la literatura (BUYS; OAKLEY, 1996; TENNENT, 1999; KOOP, 2006) se ofrecen en la tabla 1. Los intervalos aceptables respecto a parámetros ambientales como la temperatura se sitúan entre 18 y 25 °C, con oscilaciones diarias que no superen 1,5 °C; mientras que los de la humedad relativa se sitúan entre 40 y 65%, con oscilaciones que no sean superiores a 5% en 1 h. Respecto a gases contaminantes, tales como SO₂, NO_x, O₃ y H₂S, deben eliminarse por completo (GRZYWACZ, 2006: 97-100). Estos parámetros debe-

Tabla 01 |

Parámetros idóneos para la conservación preventiva de colecciones de vidrio y materiales cerámicos. Fuente: BUYS; OAKLEY, 1996; KOOB, 2006

Parámetro	Idóneo	Intervalo aceptable	Oscilaciones aceptables
Temperatura	19 ± 1 °C	18-25 °C	Diarias < 1,5 °C
Humedad relativa	50 ± 2%	40-65%	< 5% en 1 h
Iluminación	150 lux	50-250 lux	
Gases contaminantes (SO ₂ , NO _x , O ₃ , H ₂ S)	Deben eliminarse	No tiene	No tienen

rían mantenerse, e incluso evaluarse con mayor cuidado y periodicidad, en el interior de vitrinas de exposición (SCHIEWECK; SALTHAMMER, 2011) y demás espacios dedicados a fondos y almacenes (D'AGOSTINO; D'AMBROSIO ALFANO; PALELLA et ál., 2015), ya que son especialmente perniciosos los procesos de condensación que se producen cuando las condiciones ambientales de conservación permanecen estáticas, sobre todo en vidrio y en materiales cerámicos con superficies vidriadas (FERNÁNDEZ NAVARRO, 2000; DOMÉNECH, 2000). Por ello, se recomienda la ventilación de estos espacios, poniendo especial cuidado en la posible entrada de contaminantes exteriores (LÓPEZ-APARICIO; SMOLÍK; MASKOVÁ et ál., 2011). A veces se emplean sistemas de ventilación forzada para mantener estables tanto la temperatura como la humedad relativa, aunque siempre la velocidad de entrada del aire debe ser inferior a 0,3 m/s (KOOB, 2006).

En este trabajo se presenta un conjunto de tres experiencias de campo sobre seguimiento y control de la acidez ambiental en tres museos que albergan distintas colecciones de vidrio y/o materiales cerámicos. Estas experiencias se han desarrollado en el marco del proyecto mencionado anteriormente y han consistido en el diseño y desarrollo de un protocolo de medida de la acidez ambiental para identificar, evaluar y controlar posibles riesgos de deterioro por choque ácido en dichas colecciones.

METODOLOGÍA

En la realización de las experiencias de campo en los tres museos se ha diseñado y desarrollado un protocolo de seguimiento propio basado en la utilización de sensores ópticos de acidez ambiental y dispositivos electrónicos de medida para su evaluación in situ, según patente OPM n.º 201031071 (VILLEGAS BRONCANO; GARCÍA HERAS; PEÑA POZA et ál., 2010).

Los sensores consisten en una capa vítrea de ~350 nm depositada sobre un porta de vidrio convencional mediante el procedimiento Sol-Gel. A esta capa se incorpora un colorante orgánico sensible a los cambios de pH en el intervalo de interés, que en materia de conservación preventiva suele situarse entre 5 y 8 unidades de pH (GARCÍA-HERAS; KROMKA; FABER et ál., 2005). Los dispositivos electrónicos son unidades de medida portátiles, capaces de enviar los datos de las mediciones a un ordenador, cuya gestión se realiza mediante un programa informático propio (LLORENTE-ALONSO; PEÑA-POZA; DE ARCAS et ál., 2013). Antes de ser utilizado en museos con colecciones de vidrio y materiales cerámicos, el protocolo de seguimiento de la acidez ambiental ya había pro-

porcionado resultados muy aceptables en otros trabajos de campo (PEÑA-POZA; GARCÍA-HERAS; PALOMAR et ál., 2011; PEÑA-POZA; CONDE; AGUA et ál., 2013).

Las experiencias se llevaron a cabo en los tres museos siguientes: Museo Naval (Madrid), Museo Tecnológico del Vidrio (La Granja, Segovia) y Museo Comarcal (Molina de Aragón, Guadalajara). El Museo Naval de Madrid es una institución museológica dedicada a la conservación, difusión e investigación de la historia de la Armada Española que pertenece al Ministerio de Defensa. Aunque se fundó en Cádiz en 1792, en 1932 se instaló definitivamente en Madrid. Sus colecciones son ricas y diversas y, entre ellas, hay importantes conjuntos de material cerámico, como el recuperado en el pecio de la nao española San Diego, hundida frente a las costas de Manila en el año 1600. El Museo Tecnológico del Vidrio de La Granja se emplaza en el antiguo edificio de la Real Fábrica de Cristales, construido en la época del rey Carlos III y reformado en los años 80 del siglo pasado. El museo pertenece a la Fundación Centro Nacional del Vidrio y su colección se compone casi en su totalidad de objetos de vidrio de variadas cronologías, que van desde el siglo XVI hasta obras de arte contemporáneo en vidrio. Por último, el Museo Comarcal de Molina de Aragón tiene su sede en la planta baja del Real Convento de San Francisco, edificio fundado a finales del siglo XIII. Junto a la iglesia del convento se construyó la capilla de la Orden Tercera de San Francisco, cuyas dependencias albergan el Museo Comarcal desde el año 2003. Sus fondos cuentan con colecciones arqueológicas, que cubren desde el Paleolítico hasta la Baja Edad Media; paleontológicas y entomológicas.

Debe hacerse notar que sólo el Museo Naval de Madrid dispone de sistemas de control climático automatizados. Los datos del Museo Naval de Madrid provienen de mediciones efectuadas en junio y diciembre de 2013, así como de aquellas realizadas en julio y octubre de 2014; los datos del Museo Tecnológico del Vidrio de La Granja se obtuvieron en mediciones realizadas en julio de 2013; mientras que los datos correspondientes al Museo Comarcal de Molina de Aragón proceden de mediciones efectuadas en mayo de 2012. Los datos expuestos y discutidos en esta investigación se refieren exclusivamente a unidades de pH ambiental, ya que el objetivo principal fue evaluar el riesgo de choque ácido en las colecciones. No obstante, los dispositivos electrónicos de medida también están provistos de un sensor de humedad relativa y una sonda de temperatura externos a dichos dispositivos, que permiten relacionar los valores de pH con medidas de humedad relativa y temperatura de las posiciones a evaluar cuando se registran los resultados. Aparte de las mediciones llevadas a cabo con el protocolo mencionado, los tres museos registran los parámetros habituales de estabilidad microclimática relacionados con humedad relativa, temperatura e incidencia lumínica.

N.º posición	Museo	Localización	Fecha	Promedio pH	Intervalo humedad relativa (%)	Intervalo temperatura (°C)
1	Naval (Madrid)	Exterior del edificio	Junio 2013	5,68	27-38	25,8-26,8
2	Naval (Madrid)	Exterior del edificio	Diciembre 2013	6,91	21-43	26,3-18,3
3	Naval (Madrid)	Exterior del edificio	Julio 2014	5,44	28-32	26,7-27,7
4	Naval (Madrid)	En ambiente de la sala 1 junto a vitrina con porcelana de Pasajes de mediados del s. XIX	Junio 2013	7,18	28-31	24,8-25,6
5	Naval (Madrid)	En ambiente de la sala 8 junto a vitrina con material cerámico de la nao San Diego de fines del s. XVI	Junio 2013	6,97	29-33	24,5-25,8
6	Naval (Madrid)	En interior de una vitrina de la sala 8 con material cerámico de la nao San Diego de fines del s. XVI	Diciembre 2013	6,72	16-42	18,1-21,1
7	Naval (Madrid)	En interior de una vitrina de la sala 6 de exposiciones temporales con cerámica y naipes de principios del s. XIX	Octubre 2014	6,67	37-43	21,5-24,7
8	Tecnológico del Vidrio (La Granja)	Exterior del edificio	Julio 2013	5,21	29-35	26,0-27,4
9	Tecnológico del Vidrio (La Granja)	En ambiente de la sala de botellas y envases europeos junto a vitrina	Julio 2013	7,22	30-35	25,6-26,8
10	Tecnológico del Vidrio (La Granja)	En ambiente de la sala de vidrio artístico contemporáneo junto a una obra escultórica del autor J. Torres Esteban	Julio 2013	7,44	31-34	25,8-27,8
11	Comarcal (Molina de Aragón)	Exterior del edificio	Mayo 2012	4,53	21-24	20,4-22,6
12	Comarcal (Molina de Aragón)	En interior de la vitrina 2 de la sala de arqueología con material cerámico celtibérico	Mayo 2012	6,89	22-25	21,7-23,8
13	Comarcal (Molina de Aragón)	En interior de la vitrina 3 de la sala de arqueología con material cerámico celtibérico	Mayo 2012	6,75	20-23	21,4-24,7
14	Comarcal (Molina de Aragón)	En ambiente de la sala de arqueología junto a vitrinas con material cerámico celtibérico	Mayo 2012	7,26	22-26	22,3-25,1

Tabla 02 |

Posiciones de los sensores de acidez y resultados obtenidos. Tabla: Grupo de investigación Cervitrum

RESULTADOS

En la tabla 2 se indican las posiciones de los sensores en cada uno de los tres museos y los resultados obtenidos de pH ambiental, humedad relativa y temperatura. Como la mayoría de contaminantes que puede haber en el interior de un museo podrían proceder del exterior del edi-



Imagen 01 |

Aspecto de un sensor dentro de una funda protectora provista de pinza de sujeción, y sensor ubicado en la posición 4 del Museo Naval (Madrid). Foto: todas las imágenes que ilustran el artículo son del grupo de investigación Cervitrum

ficio y, en consecuencia, haber entrado tras los procesos de ventilación, las primeras mediciones se realizaron siempre en posiciones localizadas en el exterior de los edificios que albergan los museos.

Materiales cerámicos del Museo Naval (Madrid)

En las posiciones localizadas en el exterior del edificio (tabla 2, posiciones 1, 2 y 3), el pH promedio fue de 5,68 en junio de 2013, de 6,91 en diciembre de 2013 y de 5,44 en julio de 2014, respectivamente. Excepto uno de los valores próximos a pH = 7,0, que se explica porque se tomó en un invierno especialmente seco con humedad relativa muy baja que previno la formación de especies ácidas, los resultados promedio son valores bastante ácidos coherentes con una zona de tráfico intenso del centro de la ciudad de Madrid, como en la que se ubica el museo (Paseo del Prado).

La imagen 1 muestra el aspecto de un sensor con su funda protectora perforada de forma circular para facilitar el contacto directo del ambiente con la superficie sensible y la ubicación de un sensor localizado en el exterior de una vitrina del vestíbulo principal (sala 1), que contiene una vajilla de porcelana fabricada en Pasajes (Gipuzkoa) de mediados del siglo XIX. El promedio de pH en junio de 2013 fue de 7,18 (tabla 2, posición 4). Por otro lado, el sensor ubicado en la sala 8, por detrás y al exterior de una de las vitrinas que contienen materiales cerámicos de fines del siglo XVI procedentes de la nao San Diego, registró en las mismas fechas que el anterior un pH promedio de 6,97.

Los sensores de las posiciones 6 y 7 se instalaron en el interior de vitrinas. En la imagen 2 se muestra el instalado en una de las vitrinas de la sala 8 del museo, con ánforas y grandes orzas de cerámica de la nao San Diego. El promedio de pH en diciembre de 2013 fue de 6,72 (tabla 2, posición 6). La imagen 3 muestra la ubicación del sensor que se instaló en el interior de una vitrina que contenía una jarra de aceite de cerámica junto con naipes de una baraja española de principios del siglo XIX. Dicha vitrina formaba parte de la exposición temporal *El último viaje de la Fragata Mercedes*. La razón frente al expolio, que tuvo lugar entre junio de 2014 y enero de 2015 (PEÑA POZA; GÁLVEZ FARFÁN; GONZÁLEZ RODRIGO et ál., 2015). La medida promedio de pH ambiental aportada por este sensor en octubre de 2014 fue de 6,67 (tabla 2, posición 7).

Vidrios del Museo Tecnológico del Vidrio (La Granja, Segovia)

El pH promedio obtenido por un sensor instalado en el exterior, concretamente el localizado en la fachada principal del edificio por la que transita una calle con un volumen de tráfico elevado, fue de 5,21 en julio de 2013 (tabla 2, posición 8).



Imagen 02 |

Sensor ubicado en la posición 6 del Museo Naval (Madrid). Las flechas indican, en todas las imágenes en que aparecen, la posición del sensor en el interior y exterior de la vitrina



Imagen 03 |

Sensor ubicado en la posición 7 del Museo Naval (Madrid)



Imagen 04 |

Sensor ubicado en la posición 9 del Museo Tecnológico del Vidrio (La Granja, Segovia)

En este museo sólo se realizaron mediciones en el exterior de vitrinas de la colección principal expuesta, ya que por cuestiones técnicas no fue posible llevarlas a cabo en su interior. La imagen 4 muestra la posición de un sensor localizado en el exterior de una vitrina ubicada en la sala de botellas y envases europeos. En esta posición se obtuvo un promedio de pH de 7,22 en julio de 2013 (tabla 2, posición 9), mientras que en un sensor colocado tras una obra escultórica del autor J. Torres Esteban en la sala de vidrio artístico contemporáneo, el pH promedio obtenido en las mismas fechas fue de 7,44 (tabla 2, posición 10).

Materiales cerámicos del Museo Comarcal (Molina de Aragón, Guadalajara)

El valor promedio de pH tomado en el exterior del edificio del Real Convento de San Francisco, sede de este museo, fue en mayo de 2012 de 4,53 (tabla 2, posición 11).

En este museo se realizaron mediciones tanto en el interior de vitrinas como en ambiente en sala. En un sensor posicionado en el interior de la vitrina 2 de la sala de arqueología en la que se exponen materiales cerámicos de época celtibérica (Edad del Hierro), el pH promedio obtenido en mayo de 2012 fue de 6,89 (tabla 2, posición 12), mientras que el pH promedio obtenido en el interior de la vitrina 3 de esa misma sala (imagen 5), la cual también contenía materiales cerámicos celtibéricos, fue de 6,75 en la misma fecha (tabla 2, posición 13). El valor promedio de pH obtenido por un sensor que midió el ambiente de la sala de arqueología, como se muestra en la imagen 6, fue de 7,26 (tabla 2, posición 14).

DISCUSIÓN Y ESTUDIO COMPARADO DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos en las posiciones ubicadas en el exterior de los tres museos muestran valores de pH bastante ácidos (entre 4,53 en Molina de Aragón y 5,68 en Madrid), excepto en la posición 2 del Museo Naval de Madrid tomada en un invierno especialmente seco con humedad relativa muy baja. Estos datos resultan coherentes con zonas de tráfico intenso como el Paseo del Prado de Madrid, lugar en donde se ubica el Museo Naval, o la fachada principal del edificio del Museo Tecnológico del Vidrio de La Granja que se localiza en una calle con elevado volumen de tráfico rodado. El dato obtenido en el exterior del Museo Comarcal de Molina de Aragón (pH = 4,53) es el de mayor acidez ambiental externa de los tres museos estudiados. En principio podría resultar poco coherente, teniendo en cuenta que Molina de Aragón se sitúa en un entorno rural no industrial con, a priori, escasas fuentes de contaminación. Sin embargo, se ubica en el corredor



Imagen 05 |
 Sensor ubicado en la posición 13 del Museo Comarcal (Molina de Aragón, Guadalajara)



Imagen 06 |

Sensor ubicado en la posición 14 del Museo Comarcal (Molina de Aragón, Guadalajara). Las flechas indican la posición del sensor en la sala de arqueología

del Henares que tiene vientos dominantes del suroeste que arrastran las emisiones contaminantes de Madrid y de sus muy industrializados alrededores. Cuando se llevó a cabo el estudio hubo una época seca muy prolongada que terminó con episodios de lluvias intensas, que fueron las responsables de precipitar en la zona de Molina, debido precisamente a los vientos dominantes del suroeste, buena parte de la contaminación producida en Madrid. Por tanto, los valores de pH obtenidos en el exterior pueden servir para informar sobre el riesgo de realizar procesos de ventilación prolongados y sin garantías en estos museos que podrían constituir una seria amenaza para la conservación de sus colecciones, no sólo de vidrio y materiales cerámicos, sino también de otros materiales como metal, textil o papel.

Los resultados promedio de los sensores instalados para evaluar la acidez ambiental en sala indican que los valores se mueven dentro del intervalo de pH de 6,5-7,5. El valor más elevado se registró en el Museo Tecnológico del Vidrio (pH = 7,44) y el más bajo en el Museo Naval de Madrid (pH = 6,97). Ello indica que los valores se sitúan en torno a la neutralidad teórica y, por consiguiente, no representan riesgos debidos a choque ácido para la conservación preventiva de estos materiales: vidrio o cerámica.

Los resultados promedio de pH obtenidos en el interior de vitrinas fueron en general más ácidos que los registrados en el ambiente de sala (entre 6,67 en el Museo Naval de Madrid y 6,89 en el Museo Comarcal de Molina de Aragón). De todos modos, no superaron el umbral ácido de 6,5 (PEÑA POZA, 2014), lo cual indicó que, a pesar de la escasa aireación que se produce en el interior de las vitrinas, el ambiente no

llega a ser ácido ni nocivo para la correcta conservación de los materiales cerámicos expuestos. En el caso de la posición 7 del Museo Naval, los valores promedio de pH situados en el entorno neutro descartaron la posible emisión de especies ácidas del papel con el que se confeccionaron los naipes expuestos. Por otro lado, los valores promedio de pH obtenidos en el interior de las vitrinas de las posiciones 12 y 13 del Museo Comarcal de Molina de Aragón (entre 6,75 y 6,89) sirvieron igualmente para descartar la posible emisión de especies ácidas procedentes de los conglomerados de madera y de los textiles con los que estos estaban forrados, los cuales formaban parte de los materiales utilizados en el interior de la vitrina.

La buena calidad del aire en los tres museos estudiados desde el punto de vista de la acidez, en consonancia con valores de humedad relativa y temperatura (tabla 2) que se hallan dentro de los márgenes aceptables para una apropiada conservación preventiva de vidrio y materiales cerámicos, indica que los procesos de ventilación realizados por estos museos son adecuados para un control pasivo de la acidez ambiental, ya que de otro modo y debido a la contaminación constatada en el exterior de los edificios, los valores de acidez en el ambiente de las salas habrían sido mucho más elevados y, por tanto, peligrosos. Esto significa también que los propios edificios que albergan los museos actúan como barreras efectivas frente a la contaminación del exterior. Por ejemplo, en los casos del Museo Tecnológico del Vidrio de La Granja, emplazado en el antiguo edificio de la Real Fábrica de Cristales que se construyó en época de Carlos III, o del Museo Comarcal de Molina de Aragón, localizado en el edificio del Real Convento de San Francisco, los materiales con los que están contruidos los edificios, en los que la piedra o el mortero son mayoritarios, actúan como absorbentes eficaces de la contaminación contribuyendo a amortiguar parte de los contaminantes que podrían entrar a su interior en los procesos de ventilación. En el caso del Museo Naval, aparte de estos materiales, también influyen los del propio interior del edificio, como pueden ser los textiles y paneles que cubren la mayor parte de las paredes internas y que también contribuyen a absorber posibles contaminantes externos. Lógicamente, en este museo, la existencia de sistemas de control climático automatizados con filtrado de partículas en las salas de exposición temporal contribuyen en el mantenimiento de una buena calidad del aire.

La aplicación de un protocolo de seguimiento de la acidez ambiental basado en la utilización de sensores ópticos y dispositivos electrónicos de medida para su evaluación ha permitido constatar que en ninguno de los tres museos estudiados se hace necesario un control activo de la acidez ambiental más allá de las ventilaciones controladas habituales. En los tres casos se ha comprobado que el medio no tiene especies ácidas y además la humedad relativa y la temperatura

se hallan en un intervalo equilibrado, por lo que se hace innecesario utilizar medios activos de control cuando los valores de pH se mueven dentro del intervalo de 6,5-7,5, esto es, de neutralidad.

Los materiales reaccionan con el tiempo, por ello lo que sí resulta necesario es llevar a cabo seguimientos periódicos de la acidez ambiental, de modo que, si se detectan niveles de acidez por debajo del umbral de pH = 6,5 se puedan poner en marcha mecanismos activos de control. En el supuesto de que estos niveles se detectaran en sala habría que recurrir a sistemas de ventilación forzada y a filtros de aire, mientras que si se detectaran en el interior de vitrinas de exposición o almacenamiento, una simple medida de control activo podría ser la apertura de la vitrina para su ventilación con el aire de la sala, en el que se ha comprobado que no hay especies ácidas, durante ciertos periodos de tiempo, o su aireación constante a partir de pequeñas aberturas que permitan la ventilación del ambiente interno de la vitrina de manera constante.

CONCLUSIONES

La investigación llevada a cabo en este trabajo ha demostrado que la aplicación de nuevas metodologías para el control de parámetros ambientales como el pH en la gestión de la conservación preventiva en museos es un campo innovador en la conservación del patrimonio cultural. Este tipo de estrategias está de acuerdo con las principales líneas de actuación de instituciones como el Consejo Internacional de Museos (ICOM) y el Centro para el Estudio de la Conservación y Restauración de los Bienes Culturales (ICCROM). Además, estas estrategias sirven para implementar en España el Plan Nacional de Conservación Preventiva.

El diseño y desarrollo de un método de trabajo sistemático para identificar, evaluar, controlar y minimizar los posibles riesgos de choque ácido ha resultado también muy eficaz en la gestión de la conservación preventiva en museos que albergan importantes colecciones de vidrio y materiales cerámicos, ya que el método está especialmente indicado para confirmar ambientes adecuados de conservación, así como para alertar sobre riesgos potenciales de degradación en las colecciones expuestas o almacenadas.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado con cargo a un proyecto del MINECO (Ministerio de Economía y Competitividad), con Ref. HAR2012-30769, y al Programa Geomateriales 2-CM (Ref. S2013/MIT 2914) de la Comunidad de Madrid con fondos estructurales de la UE. Los autores agradecen a los directores y al personal responsable de la conservación de los museos las facilidades dadas durante la investigación. Asimismo, desean mostrar su gratitud a Javier Peña, Fernando Agua y Juan Félix Conde por su inestimable ayuda y predisposición en la consecución del estudio. Finalmente, también agradecen a la red TechnoHeritage su apoyo profesional.

BIBLIOGRAFÍA

- ASHLEY-SMITH, J.** (1999)
Risk Assessment for Object Conservation. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1999
- BACHMANN, K.** (ed.) (1992)
Conservation Concerns. A Guide for Collectors and Curators. Washington DC: Smithsonian Institution Press, 1992
- BUYS, S.; OAKLEY, V.** (1996)
Conservation and Restoration of Ceramics. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1996
- D'AGOSTINO, V.; D'AMBROSIO ALFANO, F. R.; PALELLA, B. I. et ál.** (2015)
The museum environment: A protocol for evaluation of microclimatic conditions. *Energy and Buildings*, vol. 95, 2015, pp. 124-129
- DOMÉNECH, M.ª T.** (2000)
La cerámica vidriada: examen científico y métodos de conservación y restauración. En FERNÁNDEZ NAVARRO, J. M.ª; PASTOR REY DE VIÑAS, P. (ed.) *Jornadas Nacionales sobre Restauración y Conservación de Vidrios*. La Granja-San Ildefonso: Fundación Centro Nacional del Vidrio, 2000, pp. 161-176
- FERNÁNDEZ NAVARRO, J. M.ª** (2000)
Causas del deterioro físico y químico de los vidrios históricos. En FERNÁNDEZ NAVARRO, J. M.ª; PASTOR REY DE VIÑAS, P. (ed.) *Jornadas Nacionales sobre Restauración y Conservación de Vidrios*. La Granja-San Ildefonso: Fundación Centro Nacional del Vidrio, 2000, pp. 17-37
- GARCÍA FERNÁNDEZ, I. M.** (2014)
Historia de la conservación preventiva. Parte II. *Ge-conservación*, n.º 6, 2014, pp. 5-18
- GARCÍA-HERAS, M.; KROMKA, K.; FABER, J. et ál.** (2005)
Evaluation of air acidity through optical sensors. *Environmental Science and Technology*, vol. 39, n.º 10, 2005, pp. 3743-3747
- GRZYWACZ, C. M.** (2006)
Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments. Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 2006 (Tools for Conservation)
- HATCHFIELD, P. B.** (2002)
Pollutants in the Museum Environment. London: Archetype Publications, 2002
- HERRÁEZ, J. A.; ENRÍQUEZ DE SALAMANCA, G.; PASTOR ARENAS, M. J. et ál.** (2014)
Manual de seguimiento y análisis de condiciones ambientales. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2014
- KOOB, S. P.** (2006)
Conservation and Care of Glass Objects. London: Archetype Publications & The Corning Museum of Glass, 2006
- LÓPEZ-APARICIO, S.; SMOLÍK, J.; MASKOVÁ, L. et ál.** (2011)
Relationship of indoor and outdoor air pollutants in a naturally ventilated historical building envelope. *Building and Environment*, vol. 46, n.º 7, 2011, pp. 1460-1468
- LLORENTE-ALONSO, A.; PEÑA-POZA, J.; DE ARCAS, G. et ál.** (2013)
Interface electronic system for measuring air acidity with optical sensors. *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 194, 2013, pp. 67-74
- PEÑA-POZA, J.; GARCÍA-HERAS, M.; PALOMAR, T. et ál.** (2011)
Environmental evaluation with chemical sensors in the Palace Museum of Wilanów (Warsaw, Poland). *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*, vol. 59, n.º 3, 2011, pp. 247-252
- PEÑA-POZA, J.; CONDE, J. F.; AGUA, F. et ál.** (2013)
Application of Sol-Gel based sensors to environmental monitoring of Mauméjean stained glass windows housed in two different buildings at downtown Madrid. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, vol. 52, n.º 6, 2013, pp. 268-276
- PEÑA-POZA, J.; GÁLVEZ FARFÁN, J. M.ª; GONZÁLEZ RODRIGO, M. et ál.** (2015)
Propuesta de protocolo de valoración de la acidez ambiental en salas y vitrinas de la exposición temporal El último viaje de la fragata Mercedes. La razón frente al expolio (Museo Naval, Madrid). *Ge-conservación*, n.º 8, 2015, pp. 14-26
- PEÑA POZA, J.** (2014)
Optimización, comportamiento y preindustrialización de sensores ambientales basados en la tecnología Sol-gel [en línea]. Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, 2014, <<http://hdl.handle.net/10486/664117>> [Consulta: 18/11/2015]
- PLAN Nacional de Conservación Preventiva** (2011)
Madrid: Ministerio de Cultura, Secretaría de Estado de Cultura, 2011

SCHIEWECK, A.; SALTHAMMER, T. (2011)

Indoor air quality in passive-type museum showcases. *Journal of Cultural Heritage*, n.º 2, vol. 12, 2011, pp. 205-213

TENNENT, N. H. (ed.) (1999)

The Conservation of Glass and Ceramics: Research, Practice and Training. London: James & James Science Publishers, 1999

THOMSON, G. (2008)

The Museum Environment. 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2008

Towards a EUROPEAN Preventive Conservation Strategy Adopted at the Vantaa Meeting (2000)

Helsinki: ICCROM (International Centre for the Study of the Conservation and Restoration of Cultural Property), Institute of Art and Design, 2000

VILLEGAS BRONCANO, M. A.; GARCÍA HERAS, M.; PEÑA POZA, J. et ál. (2010)

Sistema para la determinación de acidez ambiental y método que hace uso del mismo. Patente española ref. P201031071. Propietarios: CSIC y UPM

ZIVKOVIC, V.; DZIKIC, V. (2015)

Return to basics. Environmental management for museum collections and historic houses. *Energy and Buildings*, vol. 95, 2015, pp. 116-123

