

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 (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), ozono (O_3) y sulfuro de hidrógeno (H_2S). 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