

# Procesos de alteración y conservación de la escultura en vidrio

M<sup>a</sup> Ángeles Villegas Broncano y Jorge Alberto Durán Suárez

**Resumen:** Se exponen los procesos y mecanismos de alteración química de la escultura en vidrio, debidos tanto a su composición química como al efecto de las condiciones ambientales de los medios donde se pueden encontrar o conservar dichas obras escultóricas. Asimismo, se explican los orígenes e interacciones de las alteraciones de origen mecánico, óptico y biológico. Se presentan los procedimientos actuales de conservación curativa (restauración) y preventiva de la escultura en vidrio, de acuerdo con los criterios de intervención actualmente aceptados. Finalmente se consideran los posibles casos de conservación en espacios interiores y exteriores con ejemplos de esculturas reales.

**Palabras clave:** escultura, vidrio, restauración, conservación

## Alteration and conservation processes of glass sculpture

**Abstract:** Processes and mechanisms on the chemical alteration of glass sculptures are explained, both due to the glass chemical composition and to the environmental conditions effect, depending on the different places in which such glass sculptures could be conserved. Likewise, the origin and interaction of mechanical, optical and biological alterations are explained. Current remedial conservation procedures, as well as preventive conservation strategies for glass sculptures, are discussed according to the intervention criteria nowadays accepted. Finally, the different cases of conservation, both indoor and outdoor, are considered by means of real sculptures examples.

**Keyword:** sculpture, glass, restoration, conservation

## Processos de alteração e conservação da escultura de vidro

**Resumo:** São expostos os processos e mecanismos de alteração química da escultura em vidro, devido à sua composição química e ao efeito das condições ambientais dos espaços onde tais obras escultóricas podem ser encontradas ou preservadas. Da mesma forma, são explicadas as origens e as interações das alterações de origem mecânica, ótica e biológica. São apresentados os procedimentos atuais de conservação curativa (restauração) e preventiva da escultura em vidro, de acordo com os critérios de intervenção atualmente aceites. Finalmente, consideram-se os possíveis casos de conservação em espaços interiores e exteriores com exemplos de esculturas reais.

**Palavras-chave:** escultura, vidro, restauro, conservação.

## Introducción

En general, los artistas escultóricos que trabajan con vidrio aspiran a que sus creaciones sean valoradas y que pervivan. Ello depende de los siguientes factores: naturaleza y composición del vidrio o vidrios utilizados; proceso de ejecución; tratamientos en caliente o en frío realizados; condiciones ambientales de exposición o almacenamiento; y tiempo de permanencia en ellas. Dichos factores pueden actuar aislada o conjuntamente y pueden dar lugar a fenómenos sinérgicos de alteración (Fernández Navarro *et al.* 2011). Por ello su conocimiento

y el de sus mecanismos de actuación son de primordial importancia.

El presente trabajo pretende demostrar que la conservación integral de las obras escultóricas en vidrio como bienes culturales del Patrimonio artístico, depende de tres factores fundamentales: la naturaleza y las propiedades del vidrio empleado, las técnicas de ejecución utilizadas, y las características del entorno donde las obras se exhiban, almacenen o conserven. Para ello se caracterizan las patologías de degradación de las esculturas en vidrio y se investiga la influencia de las condiciones ambientales

en su conservación integral. Se analizan los criterios de restauración, conservación y protección.

### Procesos de alteración química

#### —Influencia de la composición química

El factor que ejerce mayor influencia en las propiedades de los vidrios, en su durabilidad química y en su estado de conservación es su composición química. Los vidrios más comunes para la creación de obras artísticas son los de silicato constituidos mayoritariamente por óxido de silicio, óxido alcalino (de sodio o de potasio) y óxido de calcio. También hay que mencionar los vidrios cristal (UNE 1979), de silicato de plomo y potasio, destinados a la producción de objetos de mayor calidad y valor artístico.

Se ha demostrado que solo cuando la suma de los porcentajes molares de los óxidos formadores del vidrio (de silicio, aluminio y fósforo) es superior al 60 % los vidrios se mantienen inatacables en el tiempo. La influencia de los óxidos alcalinos sobre la estabilidad del vidrio es también decisiva: el porcentaje que limita la estabilidad química se estima entre 16-20 % en peso. Los vidrios potásicos presentan una durabilidad química mucho menor que los sódicos; y los vidrios con bajos contenidos de óxido de calcio son menos durables que los que poseen contenidos elevados (Fernández Navarro 2003).

#### —Influencia de las condiciones ambientales

El grado de deterioro sufrido por los vidrios también depende de las condiciones ambientales a las que hayan estado expuestos y de la mayor o menor agresividad de los agentes químicos con que hayan permanecido en contacto. El deterioro será muy diferente según hayan estado a la intemperie, procedan de un enterramiento, de un medio subacuático o de un espacio interior (Palomar 2013).

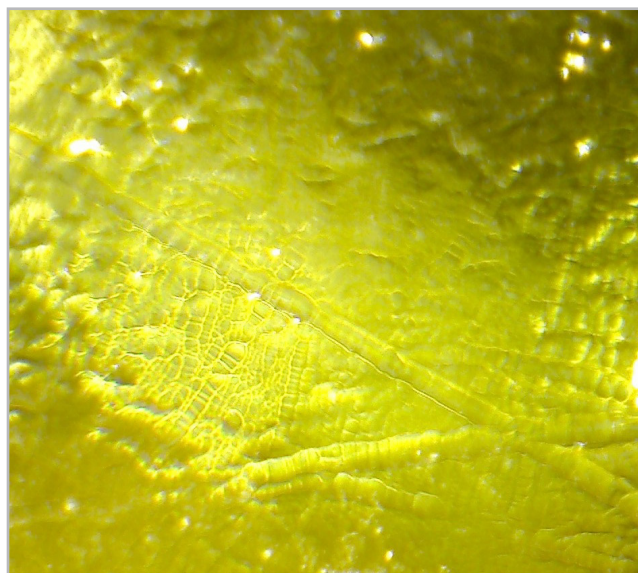
##### •Obras expuestas a la intemperie

El ataque químico del vidrio en sus primeras etapas siempre se inicia con la presencia de humedad (Rana 1961). En un ambiente rigurosamente seco cualquier vidrio podría permanecer inalterado indefinidamente.

El proceso de alteración se inicia con la adsorción sobre la superficie del vidrio de una delgada película de agua, cuyas moléculas se fijan sobre los grupos silanol (Si-OH) y lentamente se van difundiendo dando lugar a la formación de una capa de gel de sílice. Esta agua superficial produce por cambio iónico una extracción de los iones alcalinos del vidrio, que origina una progresiva desalcalinización superficial. Cuanto mayor sea el contenido de óxidos alcalinos del vidrio, más intensa y más grave será la extracción de iones alcalinos y la degradación del vidrio.

A este proceso se suma la acción de los agentes atmosféricos (CO<sub>2</sub>) y la de las emisiones contaminantes (SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>) que se disuelven en el agua creando un medio ácido más agresivo (El-Shamy 1972; Scholze 1975). La secuencia del ataque creciente da lugar primero a la formación de hidróxidos, que se transforman en nitratos y en carbonatos, y, por último, en sulfatos. Los productos solubles se eliminan arrastrados por la lluvia, y los insolubles permanecen en la superficie formando depósitos cristalinos o costras.

La corrosión se inicia en las zonas del vidrio con microfisuras o grietas, donde el ataque químico progresa más rápidamente (Inglis 1913). Recíprocamente el ataque químico acelera la propagación de las microfisuras (Lawn *et al.* 1975). Es decir, existe un efecto sinérgico entre la corrosión química y las lesiones mecánicas [figura 1].



**Figura 1.-** Imagen de lupa convencional (x4) del aspecto de la superficie de una escultura de vidrio de Javier Gómez en la que se observa el progreso del ataque químico por ácidos siguiendo las líneas de las microfisuras generadas por el pulido mecánico de dicha superficie.

##### •Obras conservadas en espacios interiores

Las esculturas de vidrio situadas en interiores, supuestamente no agresivos, protegidos de la intemperie y del contacto directo con los agentes atmosféricos contaminantes, no suelen presentar alteraciones graves. No obstante, puede aparecer con el tiempo un ligero velo blanco superficial o empañamiento que origina un tacto escurridizo. Este efecto de exudado (*crizzling*) es el resultado de una acción prolongada de la humedad ambiental sobre vidrios con un contenido relativamente elevado de óxido alcalino o un porcentaje bajo de óxido de calcio (Brill 1975). Es un mecanismo de ataque análogo al que sufre en un medio acuoso inicialmente neutro. Si el agua de condensación que forma la película húmeda permanece mucho tiempo en contacto con el vidrio en

un ambiente saturado de humedad sin poder evaporarse, comienza a extraer iones alcalinos por cambio iónico. Los iones se van concentrando en la escasa cantidad de agua que forma la película y la convierten en un medio alcalino cada vez más cáustico que comienza a romper los enlaces de la red vítrea, iniciando una intensa corrosión.

Una prolongada exposición del vidrio a una humedad relativa  $\geq 60\%$  supone un riesgo importante de *crizzling*. Cuanto mayor sea el contenido de iones alcalinos del vidrio, mayor será su extracción y acumulación en la superficie. La capa superficial de hidróxido alcalino se carbonata por reacción con el  $\text{CO}_2$  del aire y da lugar al velo superficial. La gravedad del defecto aumenta en función del tiempo de permanencia y de la temperatura ambiental. Su localización es más frecuente en el interior de las obras huecas con zonas estrechas, en las que la aireación es más difícil y la humedad permanece más tiempo.

Cuando el ataque está más avanzado la extracción de los iones alcalinos puede crear huecos microestructurales que actúan como puntos de iniciación de microfisuras. Se provoca una red de grietas que puede incluso conducir al desmoronamiento de la obra por pérdida de su resistencia mecánica (Orowan 1944).

•Obras procedentes de enterramientos

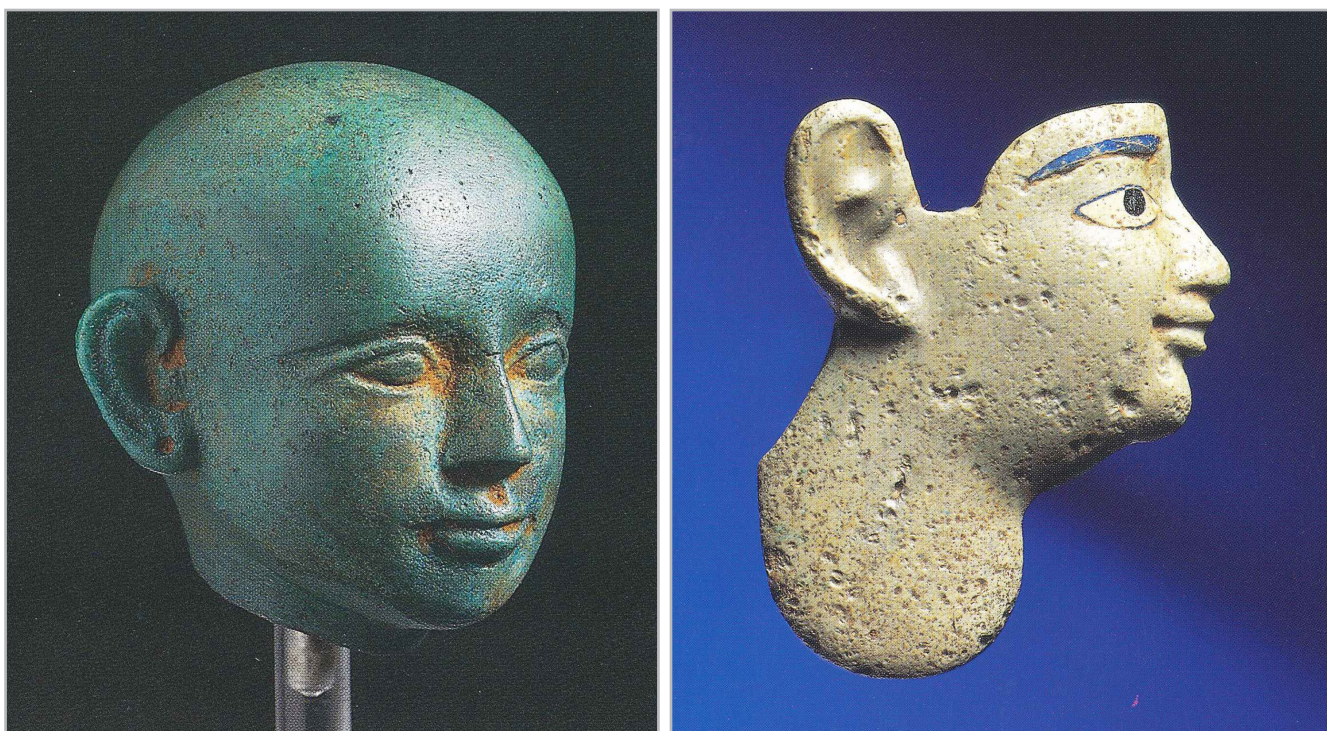
Los objetos escultóricos que han permanecido enterrados en suelos húmedos presentan una desalcalinización superficial más profunda, que origina la formación de una

capa porosa rica en sílice y grupos  $\text{OH}^-$  (Agua *et al.* 2015). Es el mismo mecanismo de lixiviación que el *crizzling* pero más grave, y depende de la humedad del entorno, régimen de lluvias, temperatura y duración de su permanencia (Palomar *et al.* 2012a). Los objetos escultóricos conservados en enterramientos durante tiempos muy prolongados presentan un aspecto mate u opaco con manchas de colores distribuidas irregularmente por la superficie, así como zonas iridiscentes y picaduras o cráteres [figura 2] (García Heras *et al.* 2012).

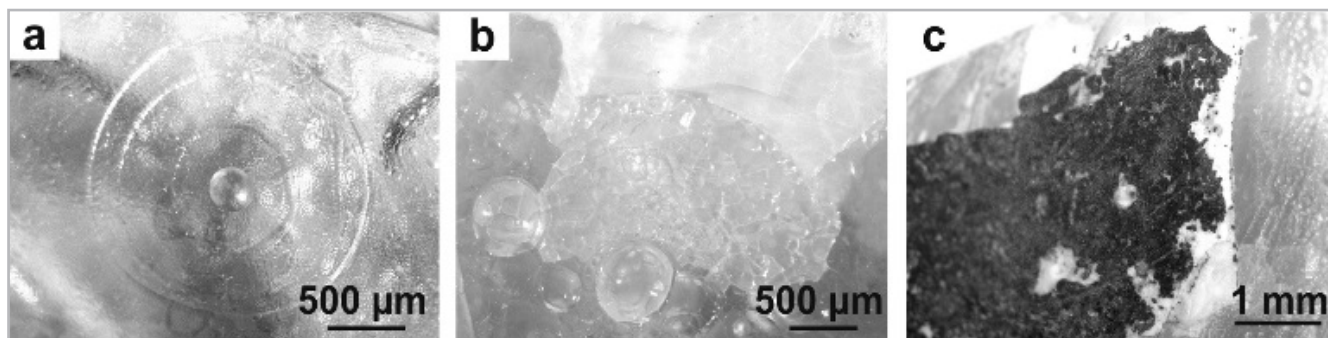
En condiciones de elevada humedad y/o de larga permanencia, el agua puede difundirse más profundamente y crear una estructura microporosa muy enriquecida en sílice, formada por finas capas superpuestas. Por eso estos objetos son muy quebradizos y pueden desmenuzarse con una ligera presión. Las irisaciones que presentan son debidas a los colores de interferencia producidos por las múltiples reflexiones de la luz al atravesar las sucesivas capas cuyo espesor es del orden de 500 nm.

•Obras procedentes de medios subacuáticos

Los objetos escultóricos que han permanecido en medios subacuáticos, la mayoría en pecios, son mucho más escasos y se dispone de menos información sobre sus alteraciones. Los estudios arqueométricos realizados en vidrios sódico cálcicos tardorromanos (Palomar 2013), pusieron de manifiesto la formación de capas desalcalinizadas y la presencia de numerosas picaduras y depósitos superficiales [figura 3].



**Figura 2.-** a) Cabeza en vidrio azul (Egipto, siglo X-VII a.C.). b) Relieve de perfil en vidrio blanco (Egipto, principios XXX Dinastía Ptolemaica, siglo IV-III a.C.). Según Stern *et al.* 1994.



**Figura 3.**- Imágenes de lupa binocular de vidrios romanos rescatados del fondo marino: a) picadura aislada, b) capa de irisación, c) depósitos oscuros. Según Palomar *et al.* 2012b.

En los vidrios conservados en medios submarinos el ataque transcurre en dos etapas: un ataque hidrolítico en medio neutro con extracción de iones alcalinos, y la destrucción del retículo vítreo con pérdida de óxidos formadores (Palomar *et al.* 2012b). Se forman costras de alteración, pero de baja adherencia respecto a las que presentan los vidrios expuestos prolongadamente a la intemperie.

—Procesos de alteración por deterioro mecánico

La fragilidad del vidrio es la responsable de su baja resistencia a los impactos y es la causa de su deterioro mecánico, que incluye desde lesiones puntuales (fisuras, cuarteados, grietas, desconchados) hasta su fractura total (Inglis 1913; Lawn *et al.* 1975). Además hay que incluir las alteraciones producidas por abrasión o rayado durante la manipulación de las obras escultóricas.

En todos los vidrios está demostrada la existencia de microfisuras superficiales que actúan como centros multiplicadores de la tensión aplicada, de modo que los esfuerzos que se ejercen se concentran en el vértice de la microfisura, a partir del cual se inicia y se propaga la rotura. Esto explica por qué un vidrio puede romperse al ser sometido a esfuerzos mecánicos relativamente pequeños y aparentemente inocuos. En realidad la rotura es el resultado del lento crecimiento y propagación de las fisuras preexistentes. Su crecimiento está favorecido por la presencia de humedad ambiental, porque las moléculas de agua se adsorben en la microfisura y rompen por ataque hidrolítico los enlaces químicos del vidrio haciendo avanzar la microgrieta.

La velocidad de crecimiento de las fisuras y, por tanto, la velocidad de rotura depende de tres factores fundamentales que rompen progresivamente los enlaces silicio-oxígeno: la intensidad del esfuerzo aplicado, la concentración de agua en el ambiente y la duración del esfuerzo. Al prolongar el tiempo, se produce un efecto de fatiga que hace disminuir la resistencia del vidrio y acelera su rotura (Orowan 1944).

— Procesos de alteración por deterioro óptico

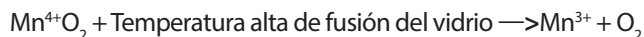
Una alteración singular que sufren algunos vidrios que contienen óxido de manganeso, es la creciente tonalidad violeta que pueden adquirir si han estado prolongadamente expuestos a la luz solar o a una iluminación rica en radiación ultravioleta, por ejemplo en obras ubicadas a la intemperie. Este fenómeno se llama solarización (Fernández Navarro 2003).

El manganeso puede hallarse en los vidrios en tres estados de oxidación diferentes:  $Mn^{2+}$  (incolore),  $Mn^{3+}$  (de rosa a violeta) y  $Mn^{4+}$  (de marrón a negro).

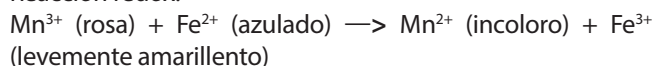
El óxido de manganeso se ha empleado para producir la coloración rosa de las carnaciones humanas en las vidrieras y continúa empleándose como colorante para impartir color de rosa a violeta en el vidrio, siendo el responsable de dicha coloración el cromóforo  $Mn^{3+}$ .

Por otra parte, el manganeso también se ha utilizado desde antes de la época romana hasta hace pocos años como decolorante en la fabricación de vidrio incoloro (se conocía como "jabón de vidrieros"), debido a que añadido a la mezcla vitrificable en su estado tetravalente en forma de pirolusita  $MnO_2$ , se reduce térmicamente a  $Mn^{3+}$ , y este  $Mn^{3+}$  oxida al hierro ferroso  $Fe^{2+}$  residual en las arenas silíceas a hierro férrico  $Fe^{3+}$ , según la secuencia de reacciones:

Termorreducción:



Reacción redox:



De este modo el tono residual azulado o verdoso debido a las impurezas de hierro de las arenas aportadoras de la sílice se compensa por adición cromática con el rosado de los iones  $Mn^{3+}$ .

Lo que se ignoraba es que el óxido de manganeso, que en su estado reducido ( $Mn^{2+}$ ) no produce color, experimenta un proceso de solarización o fotooxidación por efecto de

la acción prolongada de la luz solar y pasa al estado de oxidación  $Mn^{3+}$  que imparte un color violeta al vidrio, de acuerdo con la reacción de la figura 4.



**Figura 4.-** Reacciones de solarización en un vidrio incoloro de silicato sódico cálcico convencional que se hubiera decolorado con óxido de manganeso (oxidación fotoquímica).

#### — Procesos de alteración por deterioro biológico

El biodeterioro es un fenómeno de degradación originado por organismos vivos, por colonización de microorganismos como los hongos y bacterias, o bien por la proliferación de líquenes, musgos y otras especies vegetales (Carmona *et al.* 2006).

Se puede considerar que el biodeterioro de las esculturas en vidrio se reduce a aquellas conservadas en exteriores. Ello se debe a que la superficie de un vidrio común sólo se coloniza por organismos y microorganismos en condiciones ambientales especiales, con porcentajes de humedad relativa muy elevados, en entornos de baja contaminación ambiental y siempre que la superficie del vidrio sea lo suficientemente reactiva, o sea receptiva para el asentamiento de organismos vivos (Gorbushina *et al.* 1999; Sterflinger *et al.* 2013). Esta última condición tiene lugar cuando los vidrios han experimentado previamente procesos de degradación química que originan una superficie específica elevada, una textura y microestructura rugosa apta para la biocolonización, y/o presentan depósitos de partículas sólidas que generan un campo de cultivo adecuado.

Un ejemplo de escultura en vidrio biodeteriorada se muestra en la figura 5. Es una obra del escultor español Pedro García que se instaló en el jardín de su residencia en una zona muy umbría y húmeda. La escultura se mantuvo en su pedestal metálico y no se movió durante

más de tres años. Como se aprecia en las imágenes, la superficie del vidrio de los elementos que componen la obra está colonizada por diversos tipos de líquenes y otros microorganismos.

#### Restauración de las obras escultóricas de vidrio

La restauración pretende subsanar los efectos del deterioro para recuperar una apariencia lo más parecida posible a la original. Sin embargo, la reparación total no siempre es posible, porque las capas de vidrio atacadas o erosionadas son irrecuperables. Dentro de los procesos de restauración existen diferencias importantes entre la metodología más laboriosa requerida por las obras de origen arqueológico, y la que precisan las obras que han permanecido en ambientes interiores, si bien en todos los casos debe aplicarse el criterio conservador del principio de mínima intervención.

Los efectos más frecuentes que presentan las esculturas mantenidas en condiciones no excesivamente agresivas son el empañamiento, la alteración química de la superficie del vidrio y las lesiones mecánicas, grietas y fisuras. Cualquier tratamiento requiere una limpieza previa de la superficie para eliminar los depósitos de suciedad y recuperar la transparencia y colores originales. La limpieza debe realizarse primeramente en seco mediante soplado con una boquilla de aire comprimido y pinceles de pelo suave. Están desaconsejados los cepillos de fibra de vidrio porque pueden producir abrasiones y pérdidas de soporte. Seguidamente se realiza un lavado con un paño suave impregnado con agua desionizada y alcohol, o con tensoactivos no iónicos (Corpus Vitrearum 2004).

El empañamiento superficial puede eliminarse frotando con un paño suave humedecido con un ácido débil diluido. Nunca se deben emplear detergentes alcalinos porque serían contraproducentes. No obstante, el empañamiento puede reaparecer al secarse. Un secado rápido por descenso de la humedad relativa por debajo del 40 % puede formar microcristales superficiales; y si la humedad relativa desciende bruscamente por debajo del 30 %, se puede inducir un agrietamiento irreversible.



**Figura 5.-** Pedro García. Sin título. Escultura fragmentada, biodeteriorada y conservada en el exterior (c 15 cm alto).

Una vez desencadenado el proceso de desalcalinización superficial del vidrio, el deterioro sufrido por los objetos es irreversible (Fernández Navarro 2000).

Cuando se limpia el interior de obras de vidrio hueco, sobre todo si son partes estrechas donde no es posible introducir un paño, hay que secarlas escrupulosamente para evitar gotas de agua en el interior cuya permanencia podría iniciar una lixiviación alcalina que produciría manchas blanquecinas indelebles. Para evitarlo debe realizarse un primer lavado con una mezcla de agua y etanol al 50 %, seguido de otro lavado con etanol puro y un aclarado final con acetona. El secado debe llevarse a cabo en un ambiente sin humedad y a temperatura menor de 40°C. Las manchas superficiales de óxido de hierro que pueden presentar algunas obras se pueden limpiar con una solución de ácido oxálico (Ling 1999; Newton 1989).

#### — Restauración de las lesiones mecánicas

Las fisuras se deben bloquear para impedir su crecimiento y propagación. Hay que aislarlas del entorno y protegerlas de la humedad aplicando un recubrimiento hidrófugo. Primeramente hay que secarlas para tener una buena adherencia del recubrimiento e impedir que se ahueque permitiendo la entrada contraproducente de humedad.

Las erosiones superficiales, rozaduras y arañazos se eliminan mediante pulido con óxido de cerio seguido de cepillado con cerdas suaves y abrillantamiento con discos de fieltro. Las lesiones más profundas (desconchados, desportillados) se restauran reponiendo los fragmentos desprendidos y uniéndolos con un adhesivo adecuado.

Existe una gran variedad de materiales poliméricos (Newton 1989) que podrían aplicarse para unir fragmentos, fijar capas desprendidas o para sellar bordes. Sin embargo, algunos se han empleado antes de que estuvieran suficientemente probados. A veces se han empleado resinas que han envejecido, se han agrietado, amarilleado o dado lugar a la acumulación electrostática de polvo, formando depósitos negros opacos.

Hay un amplia gama de resinas epoxi que presentan buena adherencia, pero también el inconveniente de que los disolventes que se usan para aplicarlas pueden producir amarilleamiento, y después de endurecidas no son solubles. Por ello su eliminación solo es posible con un calentamiento posterior. Estos inconvenientes limitan su utilización.

Los polímeros acrílicos dan buenos resultados, son muy adherentes (aunque menos que las resinas epoxi), no amarillean, tienen un índice de refracción similar al del vidrio y pueden diluirse fácilmente para ajustar su viscosidad. Su ventaja reside en que después de endurecerse se pueden disolver en frío en diversos disolventes orgánicos. Los

productos comerciales más empleados son el Paraloid B 72 o Acriloid B 72, Plexigum N 80, WZ K 13-30/2 y el Viacryl VC 363 (Fernández Navarro 2000).

#### — Procesos de reconstrucción

En el caso de obras escultóricas procedentes de excavaciones es frecuente encontrar piezas muy fragmentadas que requieren reconstrucciones complejas para restablecer su posible configuración inicial. La tarea comprende la extracción de todos los componentes de la obra del suelo; estudio de su estado de conservación; limpieza mecánica y química; diseño de la reconstrucción gráfica de la supuesta forma original; consolidación de los fragmentos y pegado; montaje sobre una armadura o soporte para su exposición; recomposición del conjunto; rellenado de los espacios vacíos mediante la colocación de piezas de reposición de vidrio nuevo preparado al efecto, con indicación de sus características y dejando constancia de la intervención. Este trabajo es una tarea interdisciplinaria que requiere el concurso de especialistas de varias disciplinas (arqueólogos, químicos, restauradores, historiadores, diseñadores) (Newton 1989; Ortiz Palomar 1999).

#### Conservación preventiva y control periódico

Para prevenir los ambientes saturados de vapor de agua que forman condensaciones en la superficie del vidrio y provocan su alteración química y la exudación o *crizzling* (Brill 1975), se recomienda airear y mantener la humedad y temperatura constantes. Los valores recomendables son: humedad relativa 45-65 %, con oscilaciones diarias menores de  $\pm 2-3$  %, y temperatura 21-23°C. También es aconsejable la colocación de absorbentes de humedad.

Por otra parte, debe evitarse guardar o exponer las obras de vidrio en vitrinas o espacios herméticamente cerrados ya que, aunque protegen del polvo, tienen el riesgo de que se cree un microclima estanco que podría ser muy agresivo. Por ejemplo, para evitar el polvo se han realizado sellamientos con silicona que han resultado contraproducentes debido a las emisiones de ácido acético u otros compuestos orgánicos volátiles que han atacado gravemente las obras que se pretendía proteger. Asimismo, se han detectado emisiones de productos volátiles nocivos procedentes de pegamentos, disolventes orgánicos e incluso de materiales y maderas nobles empleados en las vitrinas y muebles expositores (Peña Poza 2014; Peña Poza *et al.* 2014; Peña Poza *et al.* 2015).

En cuanto a la iluminación se recomiendan luminarias exentas de componente ultravioleta y cuya iluminancia no exceda de 150 lx (o 150 lm/m<sup>2</sup>), para evitar la aparición o intensificación del color violeta de los vidrios que contengan óxido de manganeso debido al fenómeno de solarización.

Además de los controles de humedad y temperatura, es recomendable la colocación de sensores o dosímetros que detecten la presencia de determinados gases, o bien de sensores que reaccionen ante contaminantes agresivos. Entre otros tipos se han preparado por el procedimiento Sol-gel sensores químicos de respuesta óptica basados en el cambio de color que experimentan distintos indicadores en función del pH del aire (Villegas Broncano *et al.* 2012; Llorente Alonso *et al.* 2013).

La metodología consiste en instalar los sensores en los lugares próximos a las obras cuyo ambiente se desee evaluar, tanto en interiores como en exteriores. Los sensores no precisan alimentación eléctrica ni conexiones, cableados o materiales auxiliares. Se colocan en una funda protectora perforada por ambas caras para facilitar el contacto directo del sensor con el aire y, si es necesario, se cuelgan con una pinza. Al cabo de 24 h de exposición, el color del sensor se registra *in situ* por medio de una unidad de medida portátil [figura 6] conectada a un ordenador. Dicho ordenador dispone del software específico para realizar la transformación de los parámetros de color del sensor en datos de pH ambiental, así como la gestión de los resultados. En días sucesivos se pueden registrar los resultados de pH ambiental para confirmar las medidas del primer día (Peña Poza 2014). Este tipo de evaluación permite tasar las condiciones ambientales y prevenir los riesgos de alteración de las obras expuestas.



**Figura 6.-** Unidad de medida portátil, con un sensor insertado en su portamuestras, conectada a un ordenador.

### Conservación en espacios interiores

Las esculturas en vidrio suelen ser obras monolíticas y no siempre presentan superficies lisas y poco sensibles a los depósitos de polvo, suciedad y otras sustancias agresivas (González Vicario 1997a). En opinión del escultor español Javier Gómez (Barrionuevo Dumeynieu 2003), la obra recién acabada y no expuesta a agentes externos, presenta una perfecta combinación de luz y vidrio. Sin embargo con el paso del tiempo, y más si la escultura ha sufrido la meteorización, humedad, lluvia, manipulación y/o limpieza inadecuadas, los depósitos por escasos que sean

se hacen visibles y los daños mecánicos son irreversibles, salvo que, con autorización del escultor o bajo su dirección o criterio, se repare la superficie dañada. En general esa reparación supone el diseño de una nueva escultura.

El riesgo más crítico de las esculturas es el daño mecánico y las fracturas catastróficas producidas por roces, golpes o caídas, cuyos resultados suelen ser irreversibles. Los procesos de embalaje, transporte, desembalaje y ubicación de la obra en exposiciones, museos y galerías de arte son peligrosos y no siempre están cubiertos por seguros adecuados. Normalmente en los contratos que suscriben los artistas no se especifican las condiciones de conservación y/o restauración de la obra en caso de accidente, lo que demuestra que la escultura en vidrio, a pesar de tratarse de un material muy frágil, no se considera de ningún modo especial respecto al resto de los materiales escultóricos.

En resumen, los aspectos a tener en cuenta para una correcta conservación de la escultura en vidrio en interiores son:

- En museos, galerías de arte, salas de exposición, colecciones, etc., el daño irreversible, destrucción, robo o pérdida puede ser compensado por un seguro y, en el mejor de los casos, incluir que el artista proceda a su reparación, si puede hacerlo.
- En el caso de colecciones particulares es conveniente establecer un acuerdo que cubra los daños, restauraciones y reparaciones por parte del autor, si puede hacerlo. En el acuerdo se puede manifestar la voluntad del propietario de no intervenir la obra, aun en el supuesto de que se produzcan alteraciones.
- Cuando se trata de obras de gran tamaño realizadas con hojas de vidrio unidas con adhesivos, los seguros deben contemplar la estabilidad formal de la escultura durante los traslados y manipulaciones.

Entre las muchas obras escultóricas en vidrio de Javier Gómez (Gómez 2000; Gómez 2007), un ejemplo de conservación en interior es la escultura titulada "Horizonte" [figura 7]. La obra está compuesta por hojas de vidrio pegadas y sustentadas por una peana de 1 m de altura. Esta obra corresponde a un tipo de ejecución iniciado en España por el escultor en vidrio pionero Joaquín Torres Esteban (González Vicario, 1997b; González Vicario 1998) del que fueron discípulos Javier Gómez y Pedro García, anteriormente citado en este trabajo. Ambos escultores españoles en vidrio son los más reputados e internacionalmente reconocidos. El estado de conservación de la obra que se muestra en la figura 7 es bueno, salvo una pequeña rotura no observable a simple vista. El diseño de la escultura permite su modificación cambiando la posición de los dos módulos que la componen. Las hojas de vidrio se rebajaron por la parte interior de forma que el peso total quedara aligerado para

evitar el desprendimiento del adhesivo. Esta operación de recorte de las hojas de vidrio fue realizada por el autor y se considera una intervención conservacionista más que una restauración.



**Figura 7.-** Javier Gómez. Horizonte, 1988 (96 x 79 x 55 cm). Museo de Arte en Vidrio de Alcorcón, Madrid.

En esta escultura el autor realizó la unión de las hojas de vidrio mediante dos o tres puntos de adhesivo de unos 2 cm de diámetro. Transcurridos varios años se observó que el agua de limpieza, el polvo y la suciedad penetraban a través de los intersticios entre las hojas de vidrio. Consecuentemente decidió limpiar las láminas, secarlas cuidadosamente y volverlas a unir sellando los bordes con el adhesivo, para terminar con un pulido de los mismos. La propuesta de conservación futura de esta obra incluye la continuidad de su ubicación en el museo y una limpieza periódica cada seis meses con agua desionizada jabonosa neutra, utilizando paños secos de algodón natural. Respecto a su movilidad, las precauciones deben ser extremas dado su gran tamaño y la delicadeza de su estructura, para evitar roces, golpes, choques y caídas. En cuanto a la interacción de la escultura con la luz, el entorno de su ubicación en el museo es el adecuado, pues está resguardada de la luz natural por medio de toldos de tono natural en las ventanas que permiten el paso suficiente de luz para su observación.

### Conservación en espacios exteriores

Las esculturas en vidrio que se conservan en exteriores suelen ser grandes o de dimensiones considerables y están expuestas a la meteorización, cuya intensidad depende de la situación geográfica del entorno. Hay que tener en cuenta si se trata de un ambiente urbano, más o menos contaminado, o natural donde no se

espera contaminación. En los ambientes urbanos hay que considerar los entornos de parques, jardines y zonas afines en las que los efectos de la contaminación están amortiguados o incluso no existen. Estas ubicaciones son frecuentes ya que las esculturas suelen formar parte de un proyecto ornamental o artístico que integra la obra en un paisaje más o menos controlado. La conservación de las esculturas en vidrio en exteriores pueden enfrentarse a tres niveles de interacción o agresión ambiental: en ambientes urbanos generalmente contaminados, en ambientes urbanos no contaminados o poco contaminados, y en ambientes naturales. Los ejemplos de conservación que se muestran a continuación representan casos concretos según esta clasificación.

Las esculturas instaladas en zonas urbanas en las que el tráfico rodado es intenso son las más susceptibles de meteorización e incluso de ataque químico, favorecido por la presencia de gases contaminantes ácidos. En el primer caso la presencia de una humedad relativa considerable, junto con sus variaciones debidas a las estaciones y al día/noche, así como las oscilaciones de temperatura, provocan las condensaciones de agua que favorecen los depósitos de polvo, suciedad, partículas de hollín o de otra naturaleza que se acumulan en la superficie. Este efecto es más notorio y peligroso cuantos más elementos de vidrio constituyen la escultura, y se agrava seriamente si entre dichos elementos hay aristas, diedros o triedros, que son zonas al abrigo del lavado por lluvia y se convierten en pozos de suciedad. Dichos depósitos alteran la apariencia del vidrio, disminuyen su transparencia y enmascaran su color; son una capa donde se provoca y/o favorece el ataque hidrolítico, o el ataque ácido si el entorno está contaminado. Incluso si el ataque es neutro (hidrolítico) el proceso puede terminar en un ataque alcalino, debido a la interacción de los productos de corrosión del vidrio que vuelven a atacarlo de un modo mucho más agresivo destruyendo su estructura.

Un ejemplo puede ilustrarse en los elementos de vidrio que componen el Monumento a las Víctimas del 11M en Madrid [figura 8]. Está situado en una zona urbana de intenso tráfico rodado que afecta la conservación de los bloques de vidrio. Actualmente estos aparecen deslucidos por la suciedad y su transparencia prácticamente no se aprecia. Aunque no es posible realizar análisis o comprobaciones visuales de su estado de conservación, es muy probable que las superficies estén alteradas por el ataque hidrolítico, los contaminantes gaseosos ácidos y la suciedad. Tampoco se puede descartar que estén degradados debido a un ataque ácido o alcalino.

En este caso la intervención debe incluir una limpieza periódica, más frecuente cuanto mayor sea la contaminación, con sustancias no agresivas y materiales suaves (Fernández Navarro 2000). Cualquier otra intervención, como la aplicación de recubrimientos protectores, lacas abrillantadoras, ceras o resinas resultarían contraproducentes o, cuando menos, inútiles





**Figura 8.-** Estudio de arquitectura FAM. Monumento a las Víctimas del 11M (altura 11 m, diámetro 9,5 m), inaugurado el 11 de marzo de 2007. Inmediaciones de la Glorieta de Carlos V, Madrid.

para preservar los bloques de la meteorización y permitir la formación de la capa protectora de gel de sílice, que se forma naturalmente por la interacción del vidrio con el ambiente. Otra medida eficaz de conservación preventiva sería la restricción del tráfico rodado en sus proximidades y alejarlo tanto como sea posible.

Otro caso frecuente de ubicación de esculturas en vidrio en núcleos urbanos es en fuentes ornamentales. Los vidrios sometidos al flujo constante del agua pueden alterarse según un patrón de ataque hidrolítico. Sin embargo, el efecto no es agresivo si el agua fluye continuamente. El ataque hidrolítico al vidrio resulta agresivo cuando las gotas de agua se secan sobre su superficie creando núcleos en los que los iones alcalinos extraídos del vidrio forman un microentorno alcalino que degrada al vidrio por un ataque muy agresivo en medio básico. Los vidrios de las esculturas en fuentes soportan un gran riesgo de ataque alcalino ya que se alternan periodos en que el agua no fluye y las gotas se secan sobre la escultura. Además el ataque se ve estimulado por la cercanía permanente del agua contenida en la base de la fuente.

Las esculturas en zonas marítimas experimentan un riesgo importante de ataque hidrolítico y de ataque alcalino como fase final de degradación. La elevada humedad relativa permanente y la niebla salina marina aceleran las reacciones en la superficie, lo que sumado a los ciclos de temperatura y las prolongadas exposiciones solares, pueden agravar su alteración. Aparte de una cuidadosa limpieza, pocas precauciones más pueden adoptarse para evitar los estragos de la niebla salina excepto, naturalmente, evitar instalarlas en esos entornos.

Lo mismo puede decirse sobre las esculturas en las proximidades de ríos, lagos o grandes volúmenes de agua, si bien los efectos adversos de la niebla salina no existen, y sólo los derivados de la humedad y la intemperie son los que afectan a su conservación [figura 9]. En estos casos la limpieza debe realizarse según el procedimiento descrito, evitando la aplicación de sustancias teóricamente protectoras que podrían dañar la superficie del vidrio.



**Figura 9.-** Magdalena Paukner, Das Urkraut. Jardín del Frauenau Glasmuseum, Frauenau, Alemania.

Cuando las esculturas están instaladas en entornos naturales alejados de grandes extensiones de agua y donde no se espera contaminación, las obras pueden conservarse relativamente bien, excepto por el ataque hidrolítico de la superficie del vidrio, siempre expuesto a las variaciones de la humedad ambiental y la radiación solar.

El conocimiento del régimen de lluvias es fundamental para prever cómo puede desarrollarse la alteración de los elementos de la escultura. Dicha alteración también dependerá de la presencia de aristas y de los huecos o abrigos de dichos elementos que favorecen la acumulación de polvo, tierra, deyecciones de aves, nidos de insectos, etc. Esto es crítico cuando se trata de obras de vidrio hueco ubicadas en entornos naturales que pueden convertirse en depósitos de basura.

La presencia de esculturas en vidrio en parques y jardines urbanos está sujeta a los mismos problemas de conservación que las que se instalan en entornos naturales no urbanos. El ataque hidrolítico, dependiente del régimen de lluvias y de la zona geográfica, determinará el inicio de la alteración superficial, que se intensifica bastante en esculturas compuestas de hojas de vidrio plano.

Un caso especial es el de las esculturas que combinan vidrio y otro material sensible a la corrosión, sobre todo

metales [figura 10]. A los productos de alteración y degradación del vidrio se suman los de los metales que suelen dar lugar a manchas de las aguas ferruginosas que resbalan por el vidrio y se secan sobre él. Frecuentemente las zonas de contacto entre ambos materiales suponen una seria amenaza para la integridad de la escultura, tanto por cuestiones mecánicas como por los posibles efectos sinérgicos de disminución local de la resistencia química frente a los agentes de meteorización.



**Figura 10.-** Ronald Fischer. Himmelsschale, 2007. Jardín del Frauenau Glasmuseum, Frauenau, Alemania.

Finalmente las esculturas de vidrio monolítico [figura 11] podrán tener una conservación más sencilla y duradera, ya que la superficie expuesta de vidrio a los agentes de meteorización es menor y seguramente con mayor curvatura que en el caso de las esculturas realizadas por unión de hojas de vidrio, lo que permite que el agua resbale más fácilmente y, en consecuencia, que la superficie se seque homogéneamente en menos tiempo. En cualquier caso las recomendaciones de limpieza y conservación preventiva son las mismas que se han expuesto.



**Figura 11.-** Esculturas de vidrio a la entrada del Glassmuseum Ernsting Stiftung, Coesfeld Lette, Alemania.

### Consideraciones finales

Los vidrios de silicato sódico cálcico comúnmente empleados en las esculturas son estables y presentan una elevada durabilidad química. Para garantizar su estabilidad debe evitarse el empleo de elevados porcentajes de óxidos alcalinos en su composición. El deterioro del vidrio depende no sólo de su composición química, sino también de las condiciones ambientales a las que esté expuesto, de la agresividad química del medio y de la duración de su permanencia. El prolongado contacto del vidrio con sustancias alcalinas (caústicas) puede producir ataques superficiales indelebles.

Los defectos más frecuentes en esculturas en vidrio mantenidas en condiciones no muy agresivas, son el empañamiento (en interiores), la alteración química de su superficie y las lesiones mecánicas (grietas, fisuras, desconchados y defectos de abrasión o rayado por la manipulación). Las microfisuras originadas por lesiones superficiales o por inclusiones de impurezas favorece el inicio de la corrosión química, y, por otro lado, el ataque químico acelera la propagación de las microfisuras. Es decir, existe un efecto sinérgico entre la corrosión química y las lesiones mecánicas.

Cualquier proceso de alteración del vidrio se inicia siempre con la formación de una capa de humedad superficial. Por tanto para que el vidrio permanezca inalterable es necesario conservarlo en un ambiente rigurosamente seco. Las esculturas en vidrio expuestas largo tiempo a la intemperie en ambientes muy húmedos y umbríos pueden presentar biodeterioro originado por colonias de microorganismos o por la proliferación de líquenes y musgos. Algunos vidrios que contienen óxido de manganeso pueden adquirir una creciente tonalidad violeta, si han estado prolongadamente expuestos a la luz solar o a una iluminación rica en ultravioleta.

Además del criterio de mínima intervención, la restauración de las esculturas en vidrio requiere una limpieza previa no agresiva de la superficie. Las superficies interiores de las obras con huecos deben quedar perfectamente secas para evitar el ataque de las paredes internas. Las fisuras se deben bloquear con un recubrimiento hidrófugo para impedir su crecimiento y propagación. Las lesiones superficiales se pueden eliminar mediante un pulido con óxido de cerio, seguido de un abrillantamiento con discos de fieltro. Las lesiones más profundas se pueden restaurar reponiendo los fragmentos desprendidos y uniéndolos con un adhesivo adecuado.

Respecto a la conservación preventiva, en los espacios expositivos de esculturas en vidrio deberá mantenerse una aireación y control de la temperatura y humedad. En cuanto a la iluminación es recomendable el uso de luminarias exentas de componente ultravioleta, con iluminancia menor de 150 lm/m<sup>2</sup>. Asimismo, es recomendable la instalación de sensores específicos para la detección de contaminantes gaseosos.

## Agradecimientos

A la financiación parcial del proyecto PIE-CSIC ref. 201310E081 y del programa TOP Heritage de la Comunidad de Madrid ref. S2018/NMT-4372. Al apoyo profesional de la Red *TechnoHeritage* de Ciencia y Tecnología para la Conservación del Patrimonio Cultural, y de la Plataforma Temática Interdisciplinar del CSIC *Patrimonio Abierto: Investigación y Sociedad* (PTI-PAIS).

## Referencias

AGUA, F., CONDE, J.F., OÑATE, P., SANGUINO, J., DÁVILA, A., GARCÍA-HERAS, M., VILLEGAS, M.A. (2015) "Caracterización y estado de conservación de vidrios tardorromanos del Museo Arqueológico Regional de Madrid procedentes de las necrópolis de Cubas de la Sagra". *Bol. Soc. Esp. Ceram.* V. 54 (2): 58-68. <https://doi.org/10.1016/j.bsecev.2015.03.003>.

BARRIONUEVO DUMEYNIU, C. (2003) *Propuesta de conservación de escultura contemporánea en vidrio. Departamento de Pintura y Restauración.* Facultad de Bellas Artes. Universidad Complutense de Madrid.

BRILL, R. H. (1975). "Crizzling - A problem in glass conservation". *Conservation in archaeology and the applied arts, Stockholm Congress, 1975:* 121-134. International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works (IIC). Londres.

CARMONA, N., LAIZ, L., GONZÁLEZ, J.M., GARCIA-HERAS, M., VILLEGAS, M.A., SAIZ-JIMENEZ, C., (2006) "Biodeterioration of historic stained glasses from the Cartuja de Miraflores (Spain)". *Int. Biodeter. Biodegr.* 58 (3-4) 155-161. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2006.06.014>.

CORPUS VITREARUM (2004). *Guidelines for the conservation and restoration of stained glass.* Second edition. Nuremberg.

EL-SHAMY, T. M., LEWINS, J., DOUGLAS, R. W. (1972) The dependence on the pH of the decomposition of glasses by aqueous solutions. *Glass Technol.* 13 (3) 81-87.

FERNÁNDEZ NAVARRO, J.M. (2000). "Causas del deterioro físico y químico de los vidrios históricos". En *Jornadas nacionales sobre restauración y conservación de vidrios*, Capítulo 2. Fundación Centro Nacional del Vidrio, Ed. Fernández Navarro, J.M. San Ildefonso (Segovia).

FERNÁNDEZ NAVARRO, J.M., (2003) *El vidrio.* Ed. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid. Referencia Ed. CSIC: 10909.

FERNÁNDEZ NAVARRO, J. M., VILLEGAS, M. A. (2011) "What is Glass? "En *Modern methods for analysing archaeological and historical glass*, Capítulo 1. Ed. Koen Janssens. John Wiley & Sons Ltd. Hoboken, NJ, Estados Unidos. <https://doi.org/10.1002/9781118314234.ch1>

GARCÍA HERAS, M., FERNÁNDEZ NAVARRO, J. M., VILLEGAS BRONCANO, M. A. (2012). *Historia del vidrio: desarrollo formal, tecnológico y científico.* Ed. Proyecto PIE-CSIC 200460E594. Madrid.

GÓMEZ, J. (2000). *Vuelos.* Catálogo de obras. Ed. Museo Municipal de Arte en Vidrio de Alcorcón. Alcorcón (Madrid).

GÓMEZ, J. (2007). Catálogo de la exposición del 23 de octubre al 15 de enero de 2007. Ed. Museo Municipal de Arte en Vidrio de Alcorcón. Alcorcón (Madrid).

GONZÁLEZ VICARIO, M. T. (1997a). *El vidrio y la forma construida en la escultura de Javier Gómez.* Goya 258: 361-368.

GONZÁLEZ VICARIO, M. T. (1997b) "La práctica artística del escultor contemporáneo y los materiales". *Espacio, tiempo y forma*, UNED. Serie VII, Historia del Arte, t. 10, 287-311.

GONZÁLEZ VICARIO, M. T. (1998). *En Catálogo de la exposición Torres Esteban, una pasión por el vidrio del 8 de mayo de 1998 al 28 de febrero de 1999.* Ed. Fundación Centro Nacional del Vidrio. La Granja de San Ildefonso (Segovia).

GORBUSHINA, A., PALINSKA, K. (1999) Biodeteriorative processes on glass: Experimental proof of the role of fungi and cyanobacteria. *Aerobiologia* 15: 183-192. <https://doi.org/10.1023/A:1007616614172>

INGLIS, E. (1913) "Stresses in a plate due to pressure of cracks and sharp corners". *Trans. Inst. Naval Arch.* 55: 219.

LAWN, B. R., WILSHAW, T. R. (1975) *Fracture of brittle solids.* Cambridge Solid State Science Series. Cambridge University Press, Cambridge.

LING, D. (1999) "Conservación de vidrio hueco en el British Museum de Londres". En *Jornadas nacionales sobre restauración y conservación de vidrios*, Capítulo 9. Fundación Centro Nacional del Vidrio, Ed. Fernández Navarro, J.M. San Ildefonso (Segovia).

LLORENTE-ALONSO, A., PEÑA-POZA, J., DE ARCAS, G., GARCÍA-HERAS, M., LÓPEZ, J.M., VILLEGAS, M.A. (2013) Interface electronic system for measuring air acidity with optical sensors. *Sensor Actuat A-Phys.* 194, 67-74. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2013.01.058>.

NEWTON, R., DAVISON, S. (1989) *Conservation of glass.* Ed. Butterworth-Heinemann, Ltd. Oxford. ISBN: 0408106239.

OROWAN, E. (1944). "Fatigue of glass under stress". *Nature* 154: 341-343.

ORTIZ PALOMAR, E., PAZ PERALTA, J.A. (1999) "Propuesta para la conservación y exposición de vidrio arqueológico. Proyecto experimental promovido desde el Museo de Zaragoza". En *Jornadas nacionales sobre restauración y conservación de vidrios*, Capítulo 12. Fundación Centro Nacional del Vidrio, Ed. Fernández Navarro, J.M. San Ildefonso (Segovia).

PALOMAR, T., GARCÍA-HERAS, M., SABIO, R., RINCÓN, J.M., VILLEGAS, M.A. (2012a). "Composition, preservation and production technology of Augusta Emerita Roman glasses from the first to the sixth century AD". *Mediterranean Archaeology and Archaeometry* 12 (2): 193-211.

PALOMAR, T., GARCÍA-HERAS, M., VILLEGAS, M.A. (2012b). "Deterioro y alteraciones de vidrios romanos en medio marino" Estudios arqueológicos de Oeiras". *Actas do IX Congresso Ibérico de Arqueometria* 19: 155-162.

PALOMAR SANZ, T. (2013). *La interacción de los vidrios históricos con medios atmosféricos, acuáticos y enterramientos*. Tesis doctoral. España, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid. <http://hdl.handle.net/10486/12962>.

PEÑA POZA, J. (2014). *Optimización, comportamiento y preindustrialización de sensores ambientales basados en la tecnología sol-gel*. Tesis doctoral. España, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid. <http://hdl.handle.net/10486/664117>.

PEÑA POZA, J., LASMARÍAS LÓPEZ, J.M., GONZÁLEZ AMADOR, J., TOLOSANA MATEO, J.A., GARCÍA FERRERAS, H., VILLEGAS, M.A. (2014). "Tasación mediante sensores ambientales de las condiciones de conservación de los bienes culturales del museo y biblioteca histórica de la Academia General Militar de Zaragoza". En *Actas de EMERGE 2014. Jornadas de investigación emergente, en conservación y restauración de patrimonio*: 373-381. Ed. Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/47276>.

PEÑA POZA, J., GÁLVEZ FARFÁN, J.M., GONZÁLEZ RODRIGO, M., GARCÍA RAMÍREZ, S., VILLEGAS BRONCANO, M.A., GARCÍA HERAS, M., (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* 8: 14-26. <https://doi.org/10.37558/gec.v8i0.279>.

RANA, M. A., DOUGLAS, R. W. (1961). "The reaction between glass and water. Part 2. Discussion of the results". *Phys. Chem. Glasses* 2, 196-205.

SCHOLZE, H., HELMREICH, D., BAKARDIEV, I. (1975) "Untersuchungen über das Verhalten von Kalk-Natrongläsern in verdünnten Säuren". *Glastech. Ber.* 48, 237-247.

STERFLINGER, K., PIÑAR, G. (2013). "Microbial deterioration of cultural heritage and works of art – tilting at windmills?" *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 97 (22): 9637-9646. <https://doi.org/10.1007/s00253-013-5283-1>.

STERN, E. M., SCHLICK-NOLTE, B. (1994). "Glas der alten Welt". *Technische Betrachtungen*, p. 82. Ed. Verlag Gerd Hatje. Stuttgart.

UNE 43-603-79 (1979). Vidrio. Nomenclatura y terminología. Cristal. Vidrio sonoro.

VILLEGAS BRONCANO, M.A., GARCÍA HERAS, M., PEÑA POZA, J., DE ARCAS CASTRO, G., BARRERA LÓPEZ DE TURISO, E., LÓPEZ NAVARRO, J.M., LLORENTE ALONSO, A., (2012). *Sistema para la determinación de la acidez ambiental y método que hace uso del mismo*. Patente española P201031071.

## Autor/es



**Mª Ángeles Villegas Broncano**  
[mariangeles.villegas@cchs.csic.es](mailto:mariangeles.villegas@cchs.csic.es)  
Instituto de Historia, CSIC.

Doctora en Ciencias Químicas por la Universidad Autónoma de Madrid (1987) y en Arte por la Universidad de Granada (2016), Profesora de Investigación de OPIs con destino en el CSIC (Instituto de Cerámica y Vidrio, 1984-2001; Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, 2001-2007; Instituto de Historia, desde 2007). Es responsable de un grupo de investigación sobre materiales del Patrimonio Cultural y su conservación. Sus líneas de investigación son: conservación integral y protección del Patrimonio Histórico y Cultural; sensores ambientales y sistemas avanzados de conservación preventiva; arqueometría de materiales (vidrio, cerámica, metales, aleaciones, morteros, etc.).



**Jorge Alberto Durán Suárez**  
[giorgio@ugr.es](mailto:giorgio@ugr.es)  
Facultad de Bellas Artes Alonso Cano.  
Universidad de Granada

Doctor en Bellas Artes por la Universidad de Granada (1995), Catedrático de la Facultad de Bellas Artes Alonso Cano de la Universidad de Granada, Área de Escultura. Es responsable del grupo de investigación HUM629 de la Junta de Andalucía. Su principal línea de investigación es sobre materiales avanzados para aplicaciones técnicas y artísticas, y su conservación-restauración. Es coordinador de módulos y profesor de varias asignaturas del Máster Universitario en Ciencia y Tecnología en Patrimonio Arquitectónico y del Máster Universitario en Rehabilitación Arquitectónica, ambos de la universidad mencionada.

Artículo enviado el 08/04/2020  
Artículo aceptado el 09/05/2020



<https://doi.org/10.37558/gec.v17i1.743>