

Las vidrieras y su caracterización

Fernando Cortés Pizano
Mayo 2006

Introducción

Cuando pensamos en vidrieras generalmente nos viene a la mente todo un mundo mágico y cautivador, lleno de juegos de luz, color e imágenes en vidrio, en el interior de las catedrales góticas. Esta imagen, si bien es en parte cierta, no hace justicia a los muchos y variados matices que nos podemos encontrar en el mundo de las vidrieras a lo largo de su evolución desde la Edad Media hasta nuestros días.

Para entender las vidrieras es importante no olvidar que su primera función es la de cumplir como ventanales de un edificio, esto es, la de actuar como simple barrera divisoria y aislante entre el exterior y el interior, permitiendo al mismo tiempo el paso de la luz. Ahora bien, si miramos más allá de sus meras funciones prácticas, podríamos definir la vidriera como el arte de la manipulación de la luz desde el interior de los edificios, el arte de la configuración lumínica, y tal vez anímica, de los espacios, así como el arte de la transmisión de mensajes o imágenes sobre una superficie translúcida. Otros autores han calificado a la vidriera como el gran arte perdido, y no deja de tener sentido esta aseveración si tenemos en cuenta que de todas las vidrieras que desde la Alta Edad Media hasta la actualidad han cerrado y decorado nuestros edificios, es tan sólo una parte muy reducida la que ha llegado hasta nuestros días.

Todas estas definiciones son sin duda ciertas y responden a una realidad. Sin embargo, sigue siendo necesaria una definición general y válida de la vidriera que comprenda todas sus variantes, abarque sus más de mil años de historia y facilite por tanto un mayor entendimiento de este arte. Esta definición podría ser aquella que describiera a la vidriera sencillamente como *todo cerramiento de un vano mediante el uso de vidrios tratados con intención artística o decorativa*. Como vemos, esta definición no menciona la necesidad del uso de plomo, de pinturas o de color, ya que hemos de tener en cuenta que aparte de lo que conocemos como la vidriera tradicional emplomada existen otras muchas tipologías de vidrieras menos abundantes y conocidas como son la vidriera islámica, Tiffany, cloisonné, grabada al ácido, a la muela o con arena, la vidriera de hormigón, de ladrillos huecos y las vidrieras que incluyen técnicas mixtas más contemporáneas como el termoformado, las resinas, la fusión, la serigrafía, etc. Asimismo, la anterior definición tampoco alude al contexto arquitectónico al que van destinadas las vidrieras ya que si bien tradicionalmente se han utilizado sobre todo en la arquitectura religiosa, existen también otros muchos ámbitos dentro de la arquitectura profana o civil donde la vidriera ha hallado cómodamente su lugar a lo largo de los siglos.

Una vez hemos definido el significado del término vidriera y sus múltiples variantes, es necesario, sin embargo, en lo sucesivo, limitar este capítulo al campo de las vidrieras tradicionales, esto es, aquellas

compuestas principalmente por vidrio, perfiles de plomo y pinturas fundibles, ya que son, sin duda, las más abundantes en nuestros edificios históricos. (Imágenes 1 y 2).

1. Los materiales que conforman las vidrieras tradicionales

Las vidrieras tradicionales están construidas básicamente con los siguientes materiales: vidrio, perfiles de plomo soldados entre sí mediante estaño, pinturas fundibles en el vidrio, masilla, elementos metálicos sustentantes y mortero. (Imagen 3).

VIDRIO

Desde los orígenes de la vidriera hasta finales del siglo XIX el tipo de vidrio utilizado en vidrieras era del tipo soplado mediante los métodos de manchón -o cilindro-, disco -o ciba- y dalla normanda (método éste desarrollado en el siglo XIX). A partir del siglo XIX y hasta nuestros días estos métodos artesanales mencionados comenzaron a combinarse con diversos métodos de fabricación maquina o industrial.

En líneas generales, las materias primas principales utilizadas en los vidrios de las vidrieras son las siguientes: entre 69 y 75% de sílice (SiO_2); 12 a 15% de sosa (Na_2CO_3) o potasa (K_2CO_3); y 5 a 12% de calcio (CaCO_3). Según su composición química, podemos agrupar los vidrios utilizados en las vidrieras en dos grupos principales:

- vidrios sódico-cálcicos. Son sin duda los más abundantes a lo largo de la historia. Se caracterizan por su mayor resistencia al deterioro químico, por ser más fáciles de trabajar y por su menor precio.
- vidrios potásico-cálcicos. Utilizados paralelamente a los anteriores y principalmente en el centro y norte de Europa, entre los siglos XIII y XVI.

Por lo que respecta a los componentes secundarios presentes en el vidrio, éstos pueden intervenir como colorantes, decolorantes, opacificantes, fluidificantes, etc.

PLOMO Y ESTAÑO

El plomo ha sido desde los orígenes de la vidriera el material favorito utilizado como unión entre los vidrios de una vidriera debido a su maleabilidad, ductilidad y flexibilidad, bajo punto de fusión (327°C), reducido coste y resistencia a la corrosión. El plomo utilizado en las vidrieras contiene alrededor de un 99% de plomo y un 1% de elementos traza menores (principalmente Ag, Sn, Sb, Cu, Zn, y Fe). Se utiliza en forma de perfiles de sección en "H" colados y estirados. Lo que los vidrieros comúnmente llaman "estaño" para soldar las uniones entre los distintos perfiles de plomo en las vidrieras, es realmente una aleación de plomo y estaño en una proporción aproximada de 40/60%, 50/50% o 60/40% respectivamente, con un punto de fusión que oscila alrededor de los 183°C .

CAPAS PICTÓRICAS

Las pinturas tradicionalmente utilizadas para pintar los vidrios de las vidrieras y crear así los diferentes motivos decorativos o narrativos son principalmente: grisallas de diferentes tonos, amarillo de plata, carnaciones (también llamadas sanguinas), esmaltes y pinturas en frío. Excepto las pinturas en frío que no necesitan cocción, el resto de las pinturas para vidrio contienen en líneas generales una mezcla variable de fundentes y pigmentos, o sea de óxido de sílice y distintos óxidos metálicos como el plomo, sodio, potasio, calcio, magnesio, bario, cinc, cobre, cobalto, etc. Los amarillos de plata contiene además sulfatos y nitratos de plata, las carnaciones contienen hematita y los esmaltes una mayor proporción de fundentes. Mediante la ayuda de un diluyente como el agua o el vinagre, y eventualmente un aglutinante como la goma arábiga, se aplica esta mezcla sobre el vidrio, generalmente sobre su cara interior, mediante distintos pinceles, y a continuación es cocida en el horno a una temperatura que oscila entre 580° C y 630° C. (Imagen 4).

ELEMENTOS METÁLICOS (*FERRAMENTA*)

Los elementos metálicos utilizados en las vidrieras cumplen el propósito de sostener el peso de los paneles (bastidores y lengüetas), reforzarlos (chavetas -pasadores o trabillas-, pletinas, barras horizontales de refuerzo y nudos de sujeción de las barras de refuerzo) o proteger la vidriera (mallas, redes o rejillas exteriores). Estos elementos metálicos eran tradicionalmente de hierro, ya fuera forjado o colado, excepto en el caso de los nudos de las barras de sujeción, para los que se utiliza plomo o alambre cobre.

MASILLA

La masilla utilizada por los vidrieros, al menos desde el siglo XIV ó XV, consiste en una pasta espesa que se aplica por debajo de las alas del plomo y generalmente por ambas caras de los paneles con la finalidad de darles mayor rigidez y estabilidad y sellarlos para evitar el paso de agua y el viento hacia el interior. La masilla tradicional está compuesta principalmente por aceite de linaza hervido y Blanco de España. A menudo los vidrieros utilizan aditivos con el fin de colorear las masillas (pigmentos naturales o negro de humo), licuarlas y hacerlas más fácilmente aplicables (disolventes como trementina o white spirit), acelerar el proceso de secado (óxido de plomo) o retrasar su endurecimiento (elastómeros, butilos, etc.). Esta misma masilla es la que se utiliza para fijar y sellar los paneles de las vidrieras -o simplemente las planchas de vidrio en el caso de ventanas tradicionales- a los bastidores de hierro o madera.

MORTERO

Los paneles de las vidrieras montadas en un ventanal de piedra o ladrillo son tradicionalmente sellados o rejuntados a lo largo de todo su perímetro mediante un sencillo mortero de arena (árido o agregado), cal (aglomerante o ligante) y agua, en proporción aproximada de 3/1 ó 4/1 de arena y cal respectivamente. En ocasiones se añade a esta mezcla algún tipo de refuerzo, como pelo animal (crin de caballo generalmente) o arena gruesa o algún aditivo, como una pequeña parte de cemento blanco.

2. Alteraciones de los materiales - patologías de deterioro

Las principales causas de deterioro de las vidrieras podríamos resumirlas, en líneas generales, de la siguiente manera:

- La composición química de los distintos elementos.
- Tensiones mecánicas internas
- Los procesos o métodos de producción o trabajo de estos elementos.
- La alteración atmosférica o meteorización - Humedad Relativa, Temperatura, Rayos Ultravioletas e Infrarrojos, presencia de gases contaminantes, etc.-
- La orientación geográfica de la vidriera en el edificio.
- El efecto antrópico o antropogénico (vandalismo, intervención humana, abandono y restauraciones).
- El deterioro biológico o bioalteración (hongos, algas, líquenes y bacterias).
- Las catástrofes naturales (movimientos sísmicos, huracanes, granizo, etc.).
- Movimientos en la fábrica del edificio o en el marco arquitectónico.
- Fatiga natural de los elementos de la vidriera.
- El tiempo de exposición a las condiciones anteriores.

(Imágenes 5, 6 y 7)

Veamos ahora más en detalle cuales son las principales patologías de deterioro de cada uno de los materiales que componen las vidrieras

VIDRIO

Las principales alteraciones que pueden presentar los vidrios de las vidrieras podemos clasificarlas, según su origen, en:

- alteraciones físico-mecánicas: abrasión, fracturas, microfisuras, descascarillados, pérdidas totales o parciales de material, deposiciones de distintas partículas de polvo, hollín de velas, mortero, pinturas, etc.
- alteraciones químicas: corrosión, crizzling, enmarronamientos, desvitrificación, irisación, etc.
- alteraciones fotoquímicas: solarización

Alteraciones Mecánicas

Las principales alteraciones físico-mecánicas del vidrio tienen su origen en impactos diversos, ya sean accidentales o por vandalismo, en el abandono o la falta de mantenimiento y en restauraciones excesivas o poco respetuosas. Estas causas son sin duda las de efectos más notorios y desastrosos, hasta el punto de que es casi imposible encontrar una vidriera que no presente vidrios perdidos, fracturados o rayados.

Alteraciones Químicas

Crizzling

Fenómeno de deterioro químico resultado de una mezcla mal proporcionada de los componentes del vidrio -exceso de álcalis y carencia de óxido de calcio-. Se produce especialmente en vidrios de época romana y en ciertos vidrios fabricados en los siglos XVII y XVIII. El proceso de deterioro se produce en un ambiente de elevada humedad donde, al hidratarse el vidrio, los álcalis son extraídos o emigran hacia la superficie, provocando una descomposición y eventual desintegración de la estructura interna del vidrio. Los primeros síntomas perceptibles son una superficie húmeda (vidrios llorones o *weeping glasses*) y olor agrio, seguido de la aparición de una fina red de microfisuras superficiales. La fase más destructiva del proceso se produce en el momento en que, debido a un descenso de la humedad relativa, el vidrio se deshidrata y las mencionadas microfisuras se convierten ahora en un visible craquelado que poco a poco va opacificando la superficie del vidrio.

Irisación

Fenómeno de deterioro del vidrio, especialmente de su cara externa, mediante el cual se produce una descamación del mismo en capas. Estas capas, al contener aire acumulado entre sí, provocan un efecto de difracción de la luz y generan una alteración estética y cromática del vidrio, dando lugar a su conocida apariencia multicolor o de efecto arco iris. Desde el punto de vista químico, la irisación es debida a la presencia de una capa de gel de alto contenido en sílice en la superficie del vidrio, la cual sufre un fenómeno de descomposición debido a su exposición a adversas condiciones atmosféricas. En una fase más avanzada, el proceso de irisación produce una irreversible desintegración pulverulenta del vidrio.

El fenómeno de la irisación, limitado casi exclusivamente a los vidrios enterrados y extraídos en yacimientos arqueológicos, supone una seria alteración química del mismo, generalmente acompañada de una cierta pérdida de materia vítrea. En los vidrios de las vidrieras, sin embargo, este fenómeno es prácticamente inexistente, y cuando se produce se limita a una ligera y alteración cromática de la superficie, sin descamación de la misma y sin que ésta llegue a provocar un serio deterioro químico del vidrio.

Desvitrificación

“Proceso natural de deterioro de los materiales silíceos en virtud del cual, a partir de una fase estructuralmente desordenada, se forma una fase sólida estable, con una ordenación geométrica regular.

Este proceso se produce como consecuencia de una disminución de la energía del sistema cuando un fundido se enfría por debajo de su temperatura de *liquidus*. Como las sustancias vítreas se encuentran congeladas en un estado de subenfriamiento con un contenido energético mayor que el que corresponde a su equilibrio, termodinámico, pueden evolucionar, bajo condiciones favorables, hacia la formación de especies cristalinas estables. En tales casos la cristalización recibe el nombre particular de *desvitrificación*, ya que constituye un fenómeno que se opone a la propia naturaleza del vidrio. La superficie del vidrio, especialmente de los sódico-cálcicos, se va hidratando con el paso del tiempo y empieza a cristalizar parcialmente¹. Por otro lado, la desvitrificación también puede producirse en la superficie de los vidrios como consecuencia un mal proceso de recocido -enfriamiento-. Por lo que respecta a la apariencia de los vidrios desvitrificados, ésta es de aspecto opaco, escarchado, borroso o iridiscente.

Corrosión

El proceso de corrosión de vidrios es un fenómeno tan llamativo y espectacular como destructivo e irreversible. En las últimas décadas esta patología ha sido relativamente bien estudiada - quizá no sea exagerado decir que se trata de uno de los problemas de vidrio que más proyectos de investigación ha generado- si bien sigue presentando ciertas incógnitas a los investigadores. Si quisiéramos explicar en pocas palabras en qué consiste este proceso, podríamos decir que se trata de un ataque químico irreversible al vidrio producido como consecuencia de un intercambio de iones entre la superficie del vidrio y los elementos de la atmósfera. Los efectos de esta reacción variarán dependiendo de si el proceso se produce en un medio ácido o ligeramente alcalino. No obstante, y a pesar de lo alarmante del proceso, hemos de señalar que son principalmente los vidrios potásico-cálcicos producidos entre los siglos XIII y XV, los de composición más sensible y por tanto los de mayor riesgo de ser atacados por la corrosión - por desgracia, también es cierto que son estos siglos los de mayor florecimiento y esplendor de la vidriería.

Si miramos un poco más en profundidad en este complejo fenómeno, veremos que en primer lugar es necesario que se produzca una hidratación del vidrio: moléculas de hidrógeno, en forma de minúsculas gotitas de agua de condensación, con un cierto contenido en gases nocivos como el azufre, carbono y nitrógeno, penetran en el vidrio. En el caso de los ataques en un medio ácido, este proceso de hidratación, que va acompañado de una desalcalinización del vidrio, forma en la superficie exterior del vidrio una película protectora conocida como *capa de gel*, formada principalmente por sílice -presente en un 70 a 85%, en oposición a un 40 a 45% en la masa de vidrio- y agua. Generalmente los elementos que forman la capa de gel no suelen tener una naturaleza colorante, por lo que su presencia no suele afectar a la translucidez del vidrio, si bien si le confieren a la superficie una textura mate o irisada. Los cambios en los niveles de humedad y temperatura, esto es, periodos de sequedad y humedad, a los que están expuestos los vidrios de las vidrieras, provocan la contracción y dilatación de la capa de gel y la subsiguiente formación de fisuras en la misma, a través de las cuales puede penetrar el agua y fomentar la extracción de productos de la masa del vidrio hacia el exterior.

La subsiguiente entrada de protones de hidrógeno en el vidrio determina la salida de iones alcalinos y un aumento creciente de la concentración de grupos OH⁻ (hidróxidos) en el medio acuoso. Si

¹ Fernández Navarro, J.M., El vidrio. C.S.I.C. Centro Nacional del Vidrio. Madrid, 1991, p. 114.

éste agua no se renueva, sino que permanece estacionaria, en pequeñas cantidades y en contacto con el vidrio, se va haciendo cada vez más básica y por lo tanto más agresiva, produciendo la destrucción progresiva de la red vítrea. La mencionada acumulación de iones alcalinos sobre la superficie del vidrio, hace aumentar el valor del pH de la solución acuosa la cual, al alcanzar el nivel crítico de basicidad (pH = 9), puede reactivar el ataque químico al vidrio, continuando con la extracción de iones alcalinos y de calcio. De la misma manera, en una solución acuosa bastante ácida (pH = 3), se activa la extracción de dichos iones.

En una segunda fase se produce un fenómeno conocido como *lixiviación* (*Leaching*). Los iones alcalinos y alcalinotérreos, especialmente de potasio y calcio, por efecto del agua acidulada que en forma de iones de OH penetran e hidratan la capa de gel, se desplazan hasta la superficie a través de minúsculas grietas, fisuras y picaduras en la capa de gel, formando hidróxidos que al reaccionar con el anhídrido carbónico y anhídrido sulfúrico presentes en la atmósfera, se transforman respectivamente en carbonatos y sulfatos cálcicos. De este modo, el potasio y el calcio extraídos del vidrio acaban transformándose en yeso, singenita, calcita, etc.

Se origina así una costra en la superficie del vidrio hidratada, rica en sílice amorfa y con un alto contenido en carbonatos y sulfatos cálcicos, los cuales son de naturaleza salina, cristalina e insoluble. Mientras que el carbonato cálcico es insoluble en agua, el sulfato cálcico, debido a su carácter más o menos soluble, tiende a cristalizar. Estas sales, al cristalizar en el interior de las microfisuras de la capa de gel, provocan a su vez un deterioro mecánico del vidrio. El proceso de disolución y nueva cristalización del sulfato cálcico tiende a repetirse, haciendo aumentar el grosor de la costra la cual, durante el proceso, va atrapando restos de polvo y hollín. Esto crea una capa superficial en el vidrio formada por costras múltiples y superpuestas, de elementos solubles e insolubles, las cuales, con el tiempo, acaban desprendiéndose. Estas costras superficiales, fruto de una segunda reacción, conocidas también como *productos secundarios de la corrosión*, afectan seriamente a la translucidez del vidrio debido a su elevada capacidad de absorción lumínica.

Por lo que respecta a la identificación visual o el aspecto que presentan los vidrios atacados por corrosión, podemos encontrarnos, por ambas caras del vidrio, diferentes patologías, según las fases del ataque, que van, de forma creciente y progresiva, desde las micropicaduras, picaduras y cráteres hasta las costras de diversa coloración y grosores. (Imagen 8).

Enmarronamiento

Se trata de una alteración química del vidrio debida a la presencia de fosfato de manganeso hidratado en la capa de gel, cuyo resultado es un enmarronamiento del vidrio y la consiguiente pérdida de translucidez. Esta coloración marrón, producida por la oxidación del manganeso, produce un espectacular cambio en la estética de los vidrios, si bien afortunadamente tiene lugar casi exclusivamente en vidrios medievales de los siglos XIII y XIV, de composición potásico-cálcica. El manganeso presente en la capa de gel suele venir acompañado de fósforos y hierro, elementos de carácter colorante y poco soluble, lo que unido a la naturaleza policristalina de las capas de alteración, determina una fuerte absorción luminosa que se traduce en un oscurecimiento del vidrio. Estos compuestos de manganeso son difícilmente solubles en agua.

Según Perez y Jorba y Bettembourg (1990)², una posible explicación del fenómeno de los enmarronamientos, es la constatación de que el manganeso puede llegar a oxidar por la acción de algunos microorganismos, los cuales metabolizan el hierro y el manganeso, causando la opacificación del vidrio. (Imagen 9).

Alteraciones Fotoquímicas

Solarización

Proceso fotoquímico o de fotooxidación en el que determinados iones del vidrio experimentan un cambio irreversible de su estado de oxidación como consecuencia de exposiciones prolongadas a la luz ultravioleta o a otras radiaciones de elevada energía procedentes del sol. El cambio de valencia producido lleva consigo una modificación del color, principalmente en los vidrios que contienen óxido de manganeso (MnO) y óxido de cerio (CeO₂), volviéndose los primeros de color azul violeta y los segundos amarillentos. Estos óxidos, especialmente el manganeso, fueron tradicionalmente usados como decolorantes del óxido de hierro presente en el vidrio.

PLOMO Y ESTAÑO

Los principales factores que de deterioro de la red de plomo de las vidrieras son de tipo mecánico: la acción de empuje del viento y las sucesivas fases de calentamiento y enfriamiento –dilatación y contracción- del plomo debido a la acción de los rayos solares, emplomado y manipulación inadecuados, uso de productos mecánicos de limpieza excesivamente abrasivos, etc. En el caso de los agentes atmosféricos, la acción continuada de estos elementos ocasiona, con el paso de los años, fatiga, stress y debilitamiento de la red de plomo, que se refleja en deformaciones, abombamientos, fisuras y fracturas. Con respecto a los emplomados, hemos de tener en cuenta que una vidriera emplomada con líneas rectas, horizontales o verticales, cruzando el panel, genera con el tiempo un abombamiento o plegamiento del mismo, al igual que un exceso o carencia de estaño puede producir fracturas en las uniones entre plomos. (Imagen 10).

Por lo que respecta al deterioro químico del plomo, hemos de tener en cuenta que si bien el plomo se caracteriza por su resistencia a la corrosión y por la relativamente rápida formación de una película protectora de oxidación, existen ciertos factores y sustancias que sí pueden precipitar el ataque químico del plomo. Como sucede con el resto de los metales, el ataque químico del plomo se acelerará en situaciones de elevada humedad y/o presencia de ciertos gases nocivos en la atmósfera. Entre estos gases lo más dañinos son algunos ácidos orgánicos, como el acético, fórmico, tánico, húmico u oxálico. Asimismo, algunos productos disociados del azufre y el cloro. Un caso especial lo forman los gases -como el ácido acético, fórmico y formaldehído-, desprendidos por algunas especies de maderas como el roble o

2 M. Perez-Y-Jorba, J.M. Bettembourg, Opacification des verres médiévaux. Rôle du manganèse, en "Actas del Coloquio internacional "Technique et Science. Les. Arts du verre", celebrado en Namur (B), 1990, pp. 119-126.

maderas tropicales y por las resinas sintéticas que puedan contener (conglomerados, contrachapados y DM). Otros factores de deterioro químico son el contacto prolongado con morteros de elevado contenido en cal viva o el cemento Pórtland. Por último, el contacto prolongado del plomo con otros metales, en ambiente de elevada humedad, puede inducir a una corrosión electrolítica (descomposición química de un metal mediante el paso de una corriente eléctrica).

La composición química del plomo es asimismo uno de los factores decisivos en su resistencia ante los ataques anteriormente mencionados. Así pues, entre los elementos traza o menores de la composición del plomo, un elevado porcentaje de antimonio, cobre o estaño en la aleación hacen al plomo más resistente al deterioro pero también menos elástico y más rígido. A su vez, la plata aumenta la flexibilidad y resistencia a tensiones mecánicas, si bien ésta no está presente en los plomos comerciales.

Los efectos más destacados de este deterioro químico son, por orden de importancia: oxidación, carbonatación, sulfatación. En líneas generales, el proceso de oxidación sucede en varias fases:

1. Por reacción entre el plomo y la atmósfera, se forma una película protectora de óxido de plomo en la superficie de coloración negra grisácea. Esta película de óxido de plomo suele estar formada por anglesita ($PbSO_4$), lanarkita ($Pb_2O \cdot SO_4$) y litargirio (PbO)

2. Esta película sigue reaccionando con el dióxido de carbono (CO_2) presente en la atmósfera y puede formar una segunda película protectora de carbonato de plomo, de coloración blanca. Allí donde el plomo ha estado oculto por el mortero, y la humedad es más elevada, es muy frecuente que se forme esta capa de carbonato de plomo, formada por sales inorgánicas muy higroscópicas e insolubles. Estas dos películas aíslan al plomo y evitan el posible avance de la corrosión. En una última fase el plomo puede llegar a producir una película de sulfato de plomo.

A la hora de llevar a cabo cualquier proceso de limpieza de los paneles de una vidriera, hemos de tener en cuenta que en ningún caso hemos de eliminar la capa de oxidación que recubre la superficie del plomo, ya que ésta actúa de barrera protectora ante posteriores ataques químicos.

Por otro lado, el reemplomado de un panel de vidriera -la sustitución de la red de plomo existente por una nueva- es una intervención, lamentablemente muy frecuente, de carácter irreversible que sólo debería ser realizada en casos extremos y siempre que esté muy bien justificada. Los perfiles y otros elementos de plomo eliminados, o al menos una parte representativa de los mismos, deberán ser documentados y archivados convenientemente. (Imagen 11).

CAPAS PICTÓRICAS

La pérdida o grave deterioro de las capas pictóricas de una vidriera supone uno de los problemas más complejos a los que se ven enfrentados los restauradores. Al plantear conflictos tanto de tipo técnico como estético. Desde la vidriera del período Románico hasta la vidriera contemporánea, la presencia de pinturas, ya sea forma de ornamentos, detalles decorativos o bien en figuras, paisajes, etc., es el elemento artístico que desarrolla y define la iconografía de la obra y proporciona una parte muy importante de la lectura de la vidriera. A menudo, especialmente en la vidriera tardomedieval y Renacentista, es a través de ellas donde realmente se revela la calidad técnica y artística de cada maestro vidriero ya que a menudo el

resto de las operaciones como el corte del vidrio, emplomado, soldado, etc. eran realizadas por asistentes o aprendices. Una vidriera que ha perdido sus pinturas suele percibirse como un simple ensamblaje de vidrios emplomados privados de su capacidad de transmisión estética o iconográfica. Su pérdida, por lo tanto, puede afectar seriamente a la lectura global o parcial de la obra.

Las causas principales del deterioro de las capas pictóricas están relacionadas principalmente con el proceso de cocción y, en un segundo lugar, con la calidad de los pigmentos utilizados y las condiciones climáticas de exposición de la vidriera. Las capas pictóricas tienen como soporte al vidrio por lo que su durabilidad dependerá de la correcta unión con éste durante el proceso de cocción.

Por lo que respecta al proceso de cocción, son dos los factores a tener en cuenta para entender el deterioro de las pinturas sobre el vidrio, ambos relacionados con la curva de cocción utilizada a la hora de introducir las piezas de vidrio en el horno. Por un lado, una estancia demasiado corta en el horno (tiempos inferiores a una o dos horas) o un enfriamiento demasiado rápido de los vidrios. Por otro lado una temperatura máxima en el horno demasiado baja o demasiado elevada (por ejemplo, inferior a los 500° C o superior a los 800° C). Estas irregularidades pueden dar lugar a una mala adherencia de las pinturas sobre el vidrio y originar fuertes tensiones internas tanto en el vidrio como en las pinturas, que si bien no son perceptibles a corto plazo, si lo son, y de manera alarmante, años después.

Por otro lado no hemos de olvidar que las condiciones ambientales de exposición de una vidriera, especialmente los bruscos cambios de temperatura y humedad, y la consiguiente sucesión de fases de dilatación-contracción e hidratación-sequedad, también pueden desempeñar un papel importante a la hora de entender el deterioro de las pinturas.

Un último factor de deterioro de las pinturas bastante frecuente, especialmente en vidrieras antiguas y por lo tanto más sensibles, son los métodos de limpieza abrasivos, ya sean de tipo químico o mecánico, utilizados en intervenciones anteriores.

Las consecuencias más destacadas de todas estas causas de deterioro que hemos comentado son el desprendimiento o separación gradual de las pinturas del soporte vítreo en forma de escamas, craquelado o bien deshaciéndose en forma pulverulenta. Es importante destacar también que de entre todas las pinturas utilizadas para pintar el vidrio, son las grisallas y los esmaltes, especialmente los azules, las que mayores problemas de conservación suelen presentar, mientras que los amarillos de plata son los más resistentes. (Imagen 12).

ELEMENTOS METÁLICOS (*FERRAMENTA*)

Como vimos anteriormente, los elementos metálicos de las vidrieras son generalmente de hierro y por lo tanto las causas más destacadas de su deterioro están generalmente vinculadas a los procesos comunes de deterioro de este metal en condiciones de exposición en exterior, principalmente oxidación, corrosión y electrólisis. Durante la fase de oxidación, el hierro aumenta de volumen, lo que en el caso de los bastidores, anclados en los maineles y en el muro perimetral de la vidriera, puede producir fracturas en la piedra. Otro problema derivado de la oxidación del hierro es la adhesión de este óxido, desprendido de las barras lengüetas, chavetas o mallas de protección, al vidrio o a la piedra, originando manchas de lavado de

difícil eliminación. Asimismo, otros factores como las vibraciones o movimientos en la fábrica del edificio pueden originar doblamientos, fisuras y fracturas en dichos metales, con el consiguiente riesgo de fracturas o desprendimientos en los paneles de la vidriera y en morteros, maineles y tracería.

MASILLA

El proceso de deterioro de la masilla en las vidrieras está vinculado al del envejecimiento de sus dos componentes principales, el aceite de linaza y el Blanco de España. El aceite de linaza sufre inicialmente un proceso de secado por oxidación al absorber oxígeno de la atmósfera, lo que hace que polimerice y endurezca de forma natural como ligante del Blanco de España. Generalmente el promedio de expectativa de vida útil de una masilla expuesta a la intemperie oscila entre los 50 y 80 años, si bien este periodo puede acortarse o alargarse dependiendo de las condiciones de conservación y exposición de la vidriera (temperatura y humedad ambiental, incidencia de los rayos solares, presión del viento, orientación en el edificio, etc.). Los agentes atmosféricos reaccionan con la masilla y acaban por transformarla en sulfatos, haciendo que pierda su adherencia al vidrio y al plomo, lo que resulta en su desprendimiento y la penetración del agua de lluvia hacia el interior de la vidriera. Asimismo, en presencia de unas condiciones adecuadas, la masilla puede actuar como nutriente y favorecer la formación de colonias de hongos, musgos y líquenes en la zona de intersección entre el vidrio y el plomo. Una masilla envejecida tiende a endurecer en exceso, cuartearse, despegarse del vidrio, perder elasticidad y eventualmente desprenderse, ya sea en forma pulverulenta o en bloques. El endurecimiento de una masilla con el paso de los años ofrece una rigidez excesiva a los vidrios y al panel, impidiendo su movimiento natural ante las presiones del viento y no evitando las vibraciones de los vidrios, lo que puede comportar la rotura de los mismos.

MORTEROS

La durabilidad de los morteros utilizados para el rejuntado de los paneles de las vidrieras al muro depende de varios factores, siendo la calidad y las proporciones de mezcla de los materiales (arena/cal) y las condiciones climáticas y ambientales los más decisivos. Su comportamiento y envejecimiento es bastante similar al de la mayoría de los morteros de cal utilizados para rejuntados en la construcción. Las patologías más comunes que nos podemos encontrar son desprendimientos o desplazamientos de mortero en la zona de rejuntado entre piedra y panel, craquelado y pulverización. En la mayoría de los casos, las consecuencias más comunes son la entrada de agua de lluvia hacia el interior de la vidriera, el excesivo movimiento o flexibilidad de los paneles al ir desprendiéndose mortero o, en el caso contrario, la fractura de vidrios perimetrales cuando nos encontramos con morteros de cal poco elásticos o con morteros de cemento.

3. Métodos de examen científico aplicados al estudio de las vidrieras

Todos los profesionales involucrados de una manera u otra en el campo de la Conservación y Restauración de Bienes Culturales nos valemos de los estudios realizados sobre las obras desde diferentes ángulos y con diferentes objetivos. Desde los estudios más sencillos hasta los más costosos y sofisticados, el objetivo común de todos ellos es sin duda el profundizar en un mejor conocimiento de la obra. De entre los posibles tipos de estudios y técnicas de caracterización que pueden llevarse a cabo para el mejor conocimiento de las vidrieras, los que centran nuestro interés en esta publicación son aquellos realizados desde el campo de las llamadas Ciencias Experimentales.

Estos estudios sobre la obra los podemos llevar a cabo tanto antes de la intervención –lo que generalmente conocemos como estudios preliminares-, durante la intervención o una vez concluida la misma -estudios de seguimiento y monitorización-. Los resultados y datos obtenidos en estos estudios pueden ser una herramienta de trabajo muy importante durante el proceso de intervención, por lo que deberían quedar reflejados en la Memoria Final de la Intervención. No hemos de olvidar además que esta información recopilada puede ser de gran ayuda para futuros restauradores e investigadores de la obra en cuestión.

Estudios preliminares

El estudio detallado de una obra es un paso esencial e ineludible antes de proceder a cualquier tipo de intervención sobre la misma, ya sea de restauración o de conservación. La importancia de la realización de estudios preliminares reside en el hecho de que la información obtenida nos proporciona las pautas principales de intervención y nos permite llevar a cabo una correcta planificación del trabajo de restauración, minimizando riesgos para con la obra y evitando posibles imprevistos e improvisaciones durante el proceso de intervención.

Tan importante como conocer la autoría de una obra, su datación y estilo, es el conocer los materiales que la componen, su composición y sus alteraciones. De aquí podemos deducir que, en líneas generales, podemos dividir estos estudios preliminares en dos campos de trabajo paralelos: los estudios históricos y artísticos y los estudios materiales y técnicos. Los resultados obtenidos en ambos estudios deberían ser perfectamente compatibles entre sí, por lo que es competencia compartida de todos los profesionales involucrados en el proyecto la correcta interpretación y aplicación práctica de los datos obtenidos durante la intervención sobre la obra.

Los *estudios históricos y artísticos* tienen como objetivo la recopilación de todos los datos posibles sobre la datación o dataciones de la obra; el autor o autores, diseñadores, ejecutores o realizadores de la misma; la historia material de la obra; sus posibles cambios de ubicación, compras, ventas y préstamos; las restauraciones realizadas; los donantes, comitentes y propietarios involucrados; su estilo artístico y el marco socio-cultural en el que fue realizada; el estudio iconográfico, heráldico y paleográfico de la obra; la técnica de ejecución dentro del contexto histórico y artístico en que fue realizada; la recopilación

bibliográfica sobre la obra, etc. Así pues, la metodología de trabajo y de recopilación de datos necesaria para estos estudios oscila principalmente entre el trabajo realizado en bibliotecas y archivos y la observación y estudio directo de la obra.

Los *estudios materiales y técnicos*, por su lado, pretenden aportar toda la información posible sobre los materiales que componen la obra, sus características, propiedades, composición, datación, patologías de deterioro, estado de conservación, anteriores restauraciones, etc. Los diferentes métodos a nuestro alcance para el estudio científico del vidrio podríamos clasificarlos según diferentes criterios: “*atendiendo bien a los fundamentos fisicoquímicos en que se basa su funcionamiento bien al tipo de información que suministran, o bien a su preferente aplicación al estudio de la estructura interna o al de la estructura superficial del material. Sin embargo, no siempre es fácil establecer criterios rigurosos de asociación o de diferenciación, ya que, en muchos casos, puede obtenerse la misma información a partir de técnicas muy diferentes y, en otros, técnicas basadas en principios comunes conducen a una diversificación informativa*”³.

No obstante y con el fin de simplificar, podríamos comenzar nuestra recopilación de información sobre la vidriera por la realización de un sencillo pero necesario estudio organoléptico de la misma -propiedades de la obra que se pueden percibir por los sentidos-. A continuación, la metodología de trabajo y de recopilación de datos subsiguiente abarcaría un gran espectro de técnicas que podemos clasificar de la siguiente manera⁴:

- Técnicas de observación directa de la obra

- Microscopía de luz ordinaria
- Microscopía electrónica de barrido (SEM)
- Microscopía electrónica de transmisión (TEM)

- Técnicas analíticas

Métodos químicos:

- Análisis convencional por vía húmeda,
- Espectrometría de absorción atómica (AAS)
- Espectrometría de emisión atómica de plasma generado por inducción (ICP)

Métodos físicos:

- Determinación de isótopos
- Análisis por reacción nuclear (NRA)
- Análisis por activación de neutrones
- Difracción de Rayos X (XRS)
- Espectrometría de fluorescencia de rayos x
- Espectrometría de fluorescencia de rayos x por dispersión de energías (EDXR)
- Espectrometría de masas de iones secundarios (SIMS)
- Espectroscopía (UV, VIS, IR, ESR, Mössbauer)

3 Fernández Navarro, J.M., El vidrio. C.S.I.C. Centro Nacional del Vidrio. Madrid, 1991, p. 111

4 Fernández Navarro, J.M., Constitución química de las vidrieras y métodos para su análisis y para el estudio de sus alteraciones, en Actas del Congreso Internacional "Conservación de vidrieras históricas", celebrado en la U.I.M.P. de Santander entre los días 4 y 8 de julio de 1994, pp. 85-113.

Espectroscopía de Fotoelectrones (XPS) y Electrones Auger (AES)
Microsonda electrónica (EPM)

- Técnicas de para el estudio de las propiedades

Densidad

Índice de Refracción

Coefficiente de Dilatación

Los métodos utilizados para los estudios visuales o fotográficos de las vidrieras van desde la simple lupa de aumento (entre 4 y 15 x), hasta la macrofotografía y la microfotografía mediante el uso de diferentes microscopios: estereoscópicos o binoculares (hasta 200 x), ópticos (hasta 4000 x) y electrónicos (entre 30 y 400.000 x). Las radiaciones lumínicas utilizadas por los distintos métodos fotográficos y que pueden encontrar su aplicación en el estudio de las vidrieras son: fotografía de Infrarrojos –en combinación con las técnicas de Reflectografía y la Termografía de IR-, fotografía de Reflexión y de Fluorescencia Visible con Radiaciones Ultravioletas, fotografía con luz polarizada y fotografía con luz monocromática. (Imágenes 13 y 14).

Aparte de todos estos métodos, existen otros aquí no enumerados que aparecen mencionados en la literatura específica sobre el tema:

- Microscopía de Fuerza Atómica (AFM)
- Difracción de Rayos X bajo Pequeño Ángulo (SAXS)
- Espectrofotometría de IR
- Espectroscopía de Emisión (Espectrografía)
- Espectroscopía Electrónica para el Análisis Químico (ESCA)
- Espectroscopía de Dispersión Iónica (ISS)
- Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier
- Espectroscopía Raman
- Espectroquímica por Radiaciones Ionizantes (IBSCA)
- Espectrometría de Dispersión de Rayos X (EDX)
- Espectrometría de Resonancia Paramagnética Electrónica (EPR)
- Cromatografía de gases - Espectrometría de Masa (GC/MS)
- Fluorescencia de Dispersión de Rayos X (EDXR):
- Fluorescencia de Rayos X (XRF)
- Fluorescencia de Rayos UV (UVF)
- Análisis por Activación Neutrónica (NAA)
- Detector de Dispersión de Energía (EDAX)
- Cromatografía Líquida de Alta Presión (HPLC)
- Resonancia Magnética Nuclear (NMR)
- Resonancia Electrónica de Spin (ESR)
- Retrodispersión de Radiaciones Beta

Por su parte, Newton y Davidson⁵ proponen una serie de sencillos métodos para el estudio del vidrio, clasificándolos, según su naturaleza, en físicos, químicos e instrumentales:

- Métodos físicos

- *Mediciones de la densidad del vidrio.* Utilizado para identificar ciertos tipos de vidrio, como por ejemplo el vidrio de plomo., pesándolo en agua y al aire.
- *Mediciones del índice de refracción del vidrio.* Utilizado para elegir, por ejemplo, el tipo de resina más adecuado para su pegado.
- *Análisis del vidrio mediante inmersión en líquidos* (con aproximadamente el mismo índice de refracción que el vidrio) a fin de poder apreciar determinados detalles de la masa vítrea.
- *Visualizador de tensiones.* Sirve para detectar tensiones en los vidrios mediante el estudio de aquellas zonas con índices de refracción distintos.

- Métodos químicos

- *Papeles universales indicadores del pH,* para determinar el pH de las disoluciones empleadas para limpieza o restauración del vidrio.
- *Determinación del ión de cloro.* Utilizado en el caso de vidrios extraídos del fondo del mar y con un alto contenido de sal.
- *Detección de vidrios de plomo* mediante una disolución de ácido fluorhídrico y sulfato amónico. Si se detecta la presencia de plomo, la disolución se tornará de color negro.

- Métodos instrumentales

- *Radiación fluorescente en luz ultravioleta.* Este método, consistente en la observación de la coloración de la radiación fluorescente, se utiliza para obtener información sobre algunos de los agentes principales de refinado del vidrio y el tipo de atmósfera y la temperatura en el horno durante su fusión.
- *Monitorización de la radiación en vidrios potásicos.* Sencillo método utilizado para detectar si un vidrio es de composición potásica o sódica, esto es, si es un original medieval o una adición posterior. Para ello se utiliza un parche monitorización que ofrece resultados tras un par de meses de exposición en función de su cambio de coloración.
- *Perfilometría de superficie.* Utilizada para definir la naturaleza de la superficie del vidrio en términos de su aspereza o lisura.

Algunas de las aplicaciones prácticas más comunes de los resultados de estos estudios preliminares son por ejemplo el ayudarnos a discernir entre elementos originales de una obra y los elementos añadidos posteriormente, detectar patologías no detectadas previamente (ataques físicos químicos o biológicos a simple vista imperceptibles), esclarecer dudas sobre métodos de trabajo, emitir diagnósticos más

⁵ Newton, R. y Davidson, S. Conservation of glass. Butterworths, Londres, 1987, capítulo 6, pp. 186-197.

correctos, elegir entre distintos tratamientos, métodos de limpieza o tipos de restauración más adecuados, establecer comparaciones entre obras similares o del mismo autor, periodo, etc.

Como hemos visto, la obtención de todos estos datos puede llevarse a cabo mediante un gran número de métodos y siguiendo diferentes criterios de búsqueda, por lo que es de la mayor importancia que los restauradores sepamos qué es lo que buscamos o esperamos encontrar, así como que sepamos interpretar, contrastar y extrapolar los datos obtenidos para así poder darles una aplicación práctica en nuestro trabajo. Los datos obtenidos no son pues importantes en sí sino tan sólo en la medida en que podamos darles un sentido y aplicación dentro de la restauración en curso. En este sentido es de la mayor importancia el trabajo interdisciplinar y el intercambio de datos entre los distintos profesionales involucrados. Así por ejemplo, los datos que para un químico no tengan especial relevancia pueden tenerla para o biólogo o un restaurador, igual que la información que para un documentalista o historiador carezcan de sentido podrían tenerlo para el restaurador o el arquitecto.

En los casos en los que el tipo de examen o analítica que vayamos a realizar exija la toma de muestras de material original de la vidriera, es importante tener en cuenta que éstas muestras deben ser representativas de una patología, fenómeno o situación concreta, que procedan de zonas discretas o poco visibles de la obra, que sean lo más pequeñas posibles y, preferiblemente, que las pruebas realizadas sean no destructivas a fin de no dañar los materiales originales y poder reutilizar las muestras extraídas. Preferiblemente, la toma de las muestras debe ser realizada por restauradores cualificados, en colaboración con el científico que vaya a realizar los análisis.

Independiente y paralelamente de los resultados que ofrezcan los estudios y pruebas realizados por terceros, los restauradores por su parte deben asimismo llevar a cabo un estudio y documentación detallado de la vidriera previo a su desmontaje y restauración. Este estudio preliminar de observación directa, anterior al desmontaje, debería ser llevado a cabo lo más cerca posible de la obra –preferiblemente desde un andamio- y en él deberíamos supervisar el estado de todos los materiales, detectar las alteraciones principales y planificar detalladamente el posterior desmontaje, embalaje y transporte de la vidriera. Durante este estudio, es de la mayor importancia la realización paralela de un informe fotográfico –fotos generales y de detalles de la obra- ya que éste será de gran ayuda en nuestro trabajo posterior.

Asimismo, una vez desmontada la vidriera y transportada hasta el taller hemos de continuar con el estudio de la misma antes de proceder a su restauración. Éste estudio incluye, una vez más, la realización detallada de fotos de cada uno de los paneles desmontados de la vidriera -generalmente con luz transmitida por la cara interior y con luz reflejada por la cara interior y exterior, y en ocasiones, con luz rasante por ambas caras -, la anotación, en fichas o gráficas, del estado de conservación de los diferentes elementos de la vidriera y las diferentes patologías detectadas, así como la realización de catas y pruebas de limpieza.

De todo esto se desprende que el trabajo de investigación sobre la obra no termina una vez realizados estos estudios preliminares. Una vez comenzada la restauración y durante todo el proceso de intervención continúan surgiendo dudas, cuestiones y preguntas que harán necesario seguir investigando sobre la obra. Es importante tener en cuenta que los resultados de estos estudios realizados durante la restauración pueden alterar nuestra visión original de la obra y por lo tanto nuestra forma de intervenir sobre la misma.

Estudios de monitorización

Una vez concluida la intervención, y dependiendo de la importancia de la obra en cuestión, podría ser aconsejable realizar un estudio de monitorización de las condiciones de conservación de la vidriera y de los materiales utilizados durante la restauración. Se trata de estudios realizados una vez concluido el programa principal de restauración y conservación. El objetivo de los mismos es generalmente poder controlar el correcto funcionamiento de las medidas de restauración y conservación aplicadas.

Por un lado, este estudio de seguimiento puede incluir la monitorización de las condiciones climáticas y ambientales en la vidriera o en torno a ella: humedad relativa, temperatura, punto de rocío, rayos ultravioletas e infrarrojos, presencia de gases contaminantes, ventilación de la obra y velocidad de desplazamiento del aire en el caso de los acristalamientos de protección, etc. Para ello, es necesaria la instalación de termohigrómetros, termoanemómetros, sensores de superficie -del tipo “Thermistor” o similares-, sondas de superficie o ambientales, *Data Loggers*, indicadores de condensación, etc. Por otro lado, también es posible la realización de escáneres, registros fotográficos, toma de muestras y realización de análisis para el control del deterioro químico o biológico, etc. (Imagen 15).

Dentro del capítulo de los sensores utilizados en vidrieras, merece una mención aparte los sensores de vidrio -o *vidrios-sensores*- desarrollados por el Fraunhofer Institut für Silicatforschung de Bronnbach, Alemania⁶. Se trata de pequeñas láminas de vidrio (1 cm² aproximadamente) especialmente diseñadas en laboratorio con composiciones químicas muy similares a las de los principales vidrios medievales. Estos sensores ofrecen una sensibilidad muy elevada a los agentes de deterioro ambiental y son por lo tanto muy rápidamente atacables por meteorización. Mediante su colocación en diversas zonas de la vidriera o del edificio, tanto por el exterior como por el interior, podemos obtener a corto plazo – generalmente los estudios realizados hasta la fecha tienen una duración de un año- datos sobre los principales factores de deterioro en la zona de exposición estudiada. Estos datos son relativamente extrapolables a la vidriera original y ofrecen una valiosa información sobre el correcto funcionamiento de los acristalamientos de protección existentes o sobre la necesidad de instalación de nuevos acristalamientos en las vidrieras desprotegidas. (Imagen 16).

Después de todo lo visto hasta ahora se desprende por lo tanto que nuestro estudio sobre la obra debería ser, idealmente, lo más extenso, detallado y en profundidad posible. No obstante, en la realidad del día a día del trabajo de la restauración, la elección del tipo de estudios que se deberían realizar no siempre es una tarea exenta de frustraciones ya que a menudo ésta depende más bien de cuestiones económicas –el presupuesto global del proyecto- y de tiempo –la duración del proyecto- más que de la voluntad o interés del equipo de restauración para llevarlos a cabo. El encontrar un equilibrio entre los estudios que pensamos sería necesario realizar, la disponibilidad de profesionales para llevarlos a cabo, el poder encajarlos dentro del presupuesto del proyecto y del tiempo de ejecución del mismo es una tarea tan necesaria como de difícil resolución en la mayoría de proyectos de restauración.

⁶ Leissner, J. y Fuchs, D. R., Glass sensors: a European study to estimate the effectiveness of protective glazings at different cathedrals, en I Congreso Internacional “Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación”, celebrado en La Laguna, Tenerife, Islas Canarias, entre los días 13 y 18 de Julio de 1992, p.285-290.

Inspecciones periódicas

La realización de inspecciones periódicas de seguimiento de la obra, si bien es una tarea mucho más sencilla y menos costosa que la monitorización ambiental anteriormente descrita, es sin embargo una de las grandes cuentas pendientes en el campo de la conservación del Patrimonio. En la mayoría de los casos, una vez concluida la intervención sobre la obra, termina el trabajo de los restauradores y por desgracia es tan sólo en ocasiones muy contadas que el proyecto incluye la realización de estas inspecciones. Su objetivo principalmente es el control, seguimiento y monitorización de la obra durante un periodo de tiempo razonable, que dependerá de las demandas concretas de cada obra. Estas inspecciones deberían en cualquier caso ser realizadas por restauradores cualificados para esta tarea, con capacidades para poder evaluar las condiciones de la obra, el envejecimiento de los materiales, el correcto funcionamiento de los sistemas de restauración y conservación, etc. Estas inspecciones, a diferencia de los mencionados estudios de monitorización ambiental, no implican la instalación de ningún tipo de sensores ni complejas mediciones, sino que son realizadas por los propios restauradores y se basan en su experiencia para poder determinar el estado de la obra mediante sencillos estudios organolépticos⁷.

En el caso concreto de las vidrieras, que por un lado forman parte de los cerramientos de un edificio y a menudo la distancia de observación con las mismas es muy grande o tienen difícil acceso y por otro lado están expuestas a la intemperie y sujetas por lo tanto a las condiciones climáticas tanto del exterior como del interior del edificio, estas inspecciones son una necesidad ineludible. En el caso de que dispongamos de la posibilidad de llevar a cabo la realización de inspecciones periódicas de una vidriera restaurada, éstos son los principales factores, elementos o parámetros que deberíamos supervisar:

- Control de los distintos factores de riesgo en la vidriera y sus alrededores:
 - fracturas o desprendimientos de vidrios
 - formación de condensaciones sobre el vidrio
 - acumulación excesiva de suciedades sobre el vidrio (deposiciones de polvo, hollín de velas, telarañas, etc.)
 - estado de las diferentes capas pictóricas sobre el vidrio
 - fracturas de plomos y estado de los puntos de soldadura de estaño
 - rotura de los nudos de plomo o cobre que sujetan las barras de sujeción y posible desprendimiento de las mismas
 - fractura, deformación u oxidación de los elementos metálicos (*ferramenta*)
 - estado del acristalamiento de protección
 - presencia de excrementos o nidos de pájaros por la cara exterior de la vidriera
 - abombamiento de los paneles
 - presencia de humedades en la zona perimetral de los paneles
 - estado de los morteros y masillas en la zona perimetral de los paneles
 - fracturas en la piedra de los maineles y tracería

⁷ Para más información sobre la realización de inspecciones periódicas a lo largo de los siglos, ver: Cortés Pizano, F., Artistas, vidrieros y restauradores de vidrieras: evolución del oficio, en "R&R", n° 48, Enero 2001, p. 64-69.

- estado de las resinas utilizadas en la restauración.
- Control de los distintos factores de riesgo en el edificio
 - bruscos contrastes de temperatura y humedad en la zona de la vidriera
 - la ventilación general del edificio o de la zona donde se halla la vidriera (aberturas de ventilación en las claves de bóveda)
 - uso excesivo de velas
 - posibles vibraciones de la vidriera por cercanía de campanarios, órganos, etc.
 - frecuencia y número de visitantes por día
 - uso de sistemas de calefacción y de aire acondicionado
 - presencia de sistemas de iluminación y tendido de cableado eléctrico en las cercanías de la vidriera (posible daño estético y recalentamiento del vidrio)
 - filtraciones de agua cercanas a la vidriera (tejados, bóvedas, muros, bajantes, etc.)
 - estado de los paramentos o muros colindantes a la vidriera

(Imagen 17)

4. Principales aportaciones de las ciencias experimentales en la restauración y conservación de vidrieras

En este apartado no pretendemos llevar a cabo una revisión de los métodos o procesos más comunes en la restauración y conservación de vidrieras históricas. Más bien quisiéramos destacar tan sólo aquellas intervenciones donde las aportaciones de la investigación científica aplicadas a este campo han sido más necesarias, tangibles y fructíferas.

Películas protectoras

Aplicadas hasta hace pocos años por la cara exterior del vidrio, con el fin de ofrecerles una protección - especialmente a las capas pictóricas- contra los efectos de las precipitaciones ambientales y los contaminantes exteriores. Si bien actualmente están totalmente en desuso éstos son algunos de los diferentes tipos de películas protectoras que podemos encontrar mencionados en la literatura específica: cera de abeja, cera de carnauba, parafina, resina de látex, silicato de potasa o silicato de sosa, “ORMOCER”/Paraloid B72 (50/50)/1:10 acetato de etilo, “Viacryl” VC 363, “Viacryl” SM 654, Desmodur N 75, etc.

Consolidación de capas pictóricas

El estudio de diferentes métodos para la consolidación de capas pictóricas desprendidas en las vidrieras ha sido durante las últimas décadas uno de los campos más propicios para la investigación y la experimentación. Los primeros métodos de fijación o consolidado de pinturas consistían en el recocido de la pieza a una temperatura de 550° C -con o sin adición de nuevas grisallas- o en la cocción de un polvo de vidrio incoloro sobre las pinturas desprendidas a una temperatura de 400° C. Otro método utilizado era el consistente en el recubrimiento total o parcial de la pieza de vidrio mediante una fina película de ceras naturales -de abeja-, sintéticas -*Zapon*: laca sintética a base de nitrato de celulosa-, o de resinas de muy diversas composiciones y nombres comerciales: Bedacryl, Rhodopas M, Piaflex, cianoacrilatos, ceras microcristalinas, Kallocyl CP-GM, etc.

La última generación de productos diseñados específicamente para esta finalidad, como son el "ORMOCER" y el "SZA" (silicio-zirconio-alcóxido), fueron desarrollados por el Fraunhofer Institut für Silicatforschung de Bronnbach (Alemania)⁸, sin duda el centro de investigación más activo en este campo en las últimas décadas. Es importante destacar que sin embargo ninguno de estos productos se comercializa de forma generalizada ni ha logrado abrirse paso como la solución definitiva. La tendencia más generalizada actualmente es el uso de ciertas resinas de poliuretano y sobre todo de la conocida resina de poliacrilato "Paraloid B72" -en proporciones que pueden oscilar entre un 5 y un 20%- disuelta en tolueno, acetato de etilo, acetato de butilo, etc. (Imagen 18).

Limpieza

La limpieza de cualquier obra es generalmente una de las operaciones de restauración más controvertidas ya que la elección de los métodos y productos más adecuados para cada patología conlleva una serie de riesgos. Como regla general, hemos de considerar la limpieza de una vidriera, en un primer lugar, como una medida de conservación, cuyo objetivo es el de detener o al menos frenar el posible proceso de deterioro originado por la presencia de estos depósitos de suciedad, dejando para un segundo lugar la recuperación de transparencia.

Las pruebas preliminares de limpieza son una operación esencial para poder conocer el tipo de suciedad que queremos eliminar y los métodos y productos más aconsejables para ello. Si no conocemos el origen de los distintos depósitos de suciedad que pretendemos eliminar, corremos el riesgo de equivocarnos el método o los productos elegidos y, por lo tanto, ocasionar graves e irreversibles daños a los materiales originales.

Respecto a los distintos métodos de limpieza que podemos utilizar, es conveniente realizar una distinción entre métodos mecánicos -limpieza en seco- y métodos químicos -limpieza en húmedo-.

Entre los *métodos mecánicos*, los más comúnmente utilizados por los restauradores de vidrieras, podemos destacar, según su capacidad de abrasión: brochas y cepillos blandos, pinceles de diferentes durezas,

⁸ Römich, H., y Fuchs, D. R., Nuevos materiales para la conservación de vidrieras, en Actas del Congreso Internacional "Conservación de vidrieras históricas", celebrado en la U.I.M.P. de Santander entre los días 4 y 8 de julio de 1994, pp. 174-186.

bisturí, lana de acero de la más fina (calibre 0000), tornos con discos de fieltro y lápiz de fibra de vidrio. El uso de Rayos Láser Excimer como método de limpieza está siendo investigado desde hace ya varios años en Alemania, si bien los estudios realizados no parecen haber llegado todavía a ofrecer conclusiones definitivas y aceptables.

En el apartado de los *métodos químicos*, la lista de productos disponibles y utilizados en el pasado es muy extensa, si bien en realidad son unos pocos los que suelen ser necesarios o deberían utilizarse, y siempre teniendo muy claro qué es lo que queremos eliminar y hasta dónde.

Entre los métodos más utilizados hemos de destacar en primer lugar el agua -generalmente destilada o desionizada- utilizada siempre en combinación con toda una serie de productos que veremos a continuación.

Los disolventes orgánicos más frecuentemente utilizados en la limpieza de vidrieras son el etanol, diacetona alcohol, acetato de etilo, dimetilsulfóxido, dimetil formamida, acetona, etc.

Asimismo, ciertos tipos de geles, jabones y detergentes aparecen mencionados en la literatura específica sobre el tema si bien en la realidad su uso es muy limitado y esporádico.

Lo mismo sucede con los agentes quelantes de iones y las resinas intercambiadoras de iones. De entre las primeras, las dos soluciones propuestas por Bettembourg en los años setenta fueron durante un tiempo las formulas más utilizadas, a la vez que criticadas, a la hora de proceder a una limpieza en húmedo de las costras de corrosión en las vidrieras medievales. La llamada *Solución A* consiste en una mezcla de tiosulfato de sodio y pirofosfato de sodio y la *Solución B* combina el EDTA con bicarbonato de amonio.

Por lo que respecta a las bases y los ácidos -excepción hecha de algunas disoluciones de ácido oxálico, las cuales deberían usarse en proporciones muy bajas y bajo estricta supervisión- su uso para limpieza de vidrieras, relativamente frecuente en las últimas décadas, ha quedado en la actualidad desechado debido a los malos resultados obtenidos.

Los tratamientos con biocidas comerciales para la eliminación de diferentes especies de microorganismos, que nos encontramos en la literatura específica -Thaltox Q, Santobrite y Tego 51 B, Prospetyl B, derivados del Fenol, etc.- han sido generalmente sustituidos por una disolución de etanol y agua destilada en proporciones diversas.

Por último, hemos de mencionar el uso de baños ultrasónicos, en ciertos países europeos durante los años setenta y ochenta, para la limpieza de vidrios. Esta técnica, consistente en la inmersión del vidrio en un baño de disolvente y su posterior bombardeo mediante ultrasonidos, está actualmente en desuso.

Pegado de fracturas y reintegración de lagunas en el vidrio con resinas

Tradicionalmente los métodos utilizados para la reparación de fracturas en los vidrios han sido de tipo mecánico -plomos de fractura, plomos superficiales y cinta de cobre- hasta la aparición de los primeros adhesivos o resinas a principios del siglo XX. De entre las muchas familias y tipos de adhesivos que aparecen mencionados en la literatura específica, destacamos algunos de los más utilizados: resinas de

acetato de polivinilo, resinas acrílicas o poliacrilatos, resinas de cianoacrilatos, resinas de polietilenimina, resinas de poliéster, resinas de reacción por UVA, resinas de silicona y resinas epoxídicas -Araldite 2020, Hyxtal NYL-1, Fynebond, Ablebond, Epo-Tek, etc.- De todos estos tipos de adhesivos enumerados son sin duda las resinas epoxi las que han superado con mayores garantías de éxito las pruebas de laboratorio realizadas y han encontrado por tanto una mayor aceptación entre los restauradores, tanto para el pegado de fracturas como para la reintegración de pequeñas lagunas en el vidrio mediante relleno. (Imagen 19).

Masillas

Como ya mencionamos anteriormente, la masilla tradicional a base de aceite de linaza y creta, expuesta a las condiciones de intemperie, ofrece una expectativa de vida que oscila entre los 60 y 80 años. Algunos autores, como el ya citado J. M. Bettembourg, entre otros, realizaron una serie de estudios con masillas sintéticas, como alternativa a la masilla tradicional. Algunos de los productos que podemos encontrar mencionados en estos estudios son: masilla de butilo: (Scotchseal 5313, Rhodosil 3B, Syligutt y MSW2A) y silicona. Actualmente, la mayoría de los restauradores utilizan la masilla tradicional, con algunos de los aditivos más tradicionales anteriormente mencionados, así como la masilla de butilo -especialmente en el Reino Unido-.

Acristalamientos de protección

El campo de los acristalamientos de protección para vidrieras históricas ha sido sin duda uno de los que han generado un mayor número de estudios científicos con enfoques muy diferentes e involucrado a un mayor colectivo de profesionales -restauradores, físicos, historiadores del arte, arquitectos, etc.-, levantando a su vez encendidas polémicas no resueltas.

Los acristalamientos exteriores de vidrieras más antiguos conocidos datan del siglo XVIII. Estos primeros sistemas perseguían, por un lado, la protección mecánica de la vidriera contra impactos exteriores, y por otro, la mejora de las condiciones térmicas en el interior del edificio. No será realmente hasta la década de los cincuenta del siglo XX cuando se desarrolle una preocupación por el alarmante deterioro químico de las vidrieras más antiguas y se empiece a buscar un tipo de protección más eficaz contra los agentes contaminantes exteriores. A partir de los años ochenta se impone el llamado acristalamiento exterior isotérmico como el sistema de protección más eficaz para vidrieras especialmente frágiles y sensibles⁹. De forma resumida, este sistema consiste en trasladar la vidriera, desde su posición original, unos centímetros hacia el interior del edificio, colocando el vidrio de protección en la antigua ubicación de la vidriera, creándose de esta manera una cámara de ventilación natural entre ambas vidrieras,

⁹ El acristalamiento Isotérmico de protección es el sistema especialmente recomendado por el CVMA e ICOMOS en las dos únicas Cartas existentes hasta la fecha sobre Conservación de vidrieras: "Líneas directrices para la conservación de vidrieras históricas", redactadas por el COMITE TECNICO del CORPUS VITREARUM MEDII AEVI y el COMITÉ INTERNATIONAL POUR LE VITRAIL de ICOMOS durante el XV Coloquio Internacional del Corpus Vitrearum, celebrado en ámsterdam en 1987, y las "Líneas Directrices para la Conservación y Restauración de vidrieras" (Segunda edición), redactadas durante el Congreso del CVMA celebrado en Nuremberg en 2004.

de unos 6 a 8 mm de ancho. A pesar de la existencia de ciertas críticas hacia este sistema, principalmente basadas en cuestiones de tipo estético, sus ventajas son indiscutibles, especialmente su eficacia a la hora de evitar el contacto de la vidriera con la mayor parte de agentes nocivos procedentes del exterior y sobre todo la formación de agua de condensación sobre el vidrio original. (Imagen 20).

5. Literatura seleccionada

Libros

- Americo Corallini y Valeria Bertuzzi. *Il Restauro delle Vetrate*. Nardini Editore, 1994.
- Newton, R. y Davidson, S. *Conservation of glass*. Butterworths, Londres, 1987
- Dr. B. A. H. G. Jütte y R. Crèvecoeur. *Richtlijnen voor de conservering van gebrandschilderd glas*. "CL Informatie" 1994, 18. Centraal laboratorium voor Onderzoek van Voorwerpen van Kunst en Wetenschap, Amsterdam (NL).
- Leissner, J., Barkhausen, W., Wissenbach K. y Fuchs, D.R. *Glassensor-Untersuchungen zur Laserbehandlung historischer Glasmalereien*. Bundesministerium für Forschung und Technologie, BMFT-Verbundprojekt BAU 5026/C4. 1994.
- Oidtmann, S., *Die Schutzverglasung - eine wirksame Schutzmassnahme gegen die korrosion an wertvollen Glasmalereien*. Tesis Doctoral. T.U. Eindhoven (NL), 1994.
- Scholze, H. *Glas: Natur, Struktur und Eigenschaften*. Springer Verlag, Berlin, 1988, 3ª edición.
- VV.AA. *Historische Glasmalerei – Schutzverglasung. Bestandssicherung. Weiterbildung*. Ein Projekt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt. Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften. Edition Leipzig, 1999.
- VV.AA. *Restaurierung und Konservierung historischer Glasmalereien*. Ein Förderprojekt des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie. Ed. Philipp von Zabern, Mainz, 2000.
- VV.AA. *Kleinig glas in monumenten – Conservering van gebrandschilderd glas*. Rijksdienst voor de Monumentenzorg. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage (NL), 1985.
- VV.AA. *Bau und Bild Kunst im Spiegel internationaler Forschung*. Coordinador: Erhard Drachenberg. 1989. Ed. VEB Verlag für Bauwesen, Berlin. (2 volúmenes).
- VV.AA. *The Conservation of Glass and Ceramics. Research, Practice and Training*. Ed. James & James, Londres, 1999. Edición a cargo de Norman H. Tennent.
- VV.AA. *La Rose de la Cathédrale de Losanne. Histoire et Conservation*. Lausanne, 1999.

Actas de congresos y revistas

- VV.AA. *O Vitral. Historia, Conservação e Restauro*. Actas del Encuentro internacional celebrado en el Monasterio de Batalla, 25-29 de Abril de 1995. Ministerio da Cultura - Instituto Português do Património Arquitectónico. Lisboa, 2000.
- VV.AA. *Art, Technique et Science: la création du vitrail de 1830 à 1930*. Actas del Coloquio Internacional del CVMA celebrado en Lieja, Le Vertbois (B), 11-13 Mayo de 2000. Publicado como "Dossier de la Commission Royale des Monuments, Sites et Fouilles", nº 7.
- VV.AA. *IXe. Colloquie International du CVMA*. Actas del Coloquio, en "Verres et Réfractaires", 30, nr. 1 (1976). Paris, 8-12 Septiembre, 1975.
- VV.AA. *Sicherung, Konservierung und restaurierung historischer Glasmalereien*, en "Forschungsbericht" 217. BAM (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung), Berlin, 1997.
- VV.AA. XVI. International Congress on Glass, celebrado en Madrid, 4 - 9 Octubre 1992. Actas del congreso publicadas en el Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 31-C1, Madrid, 1992.
- VV.AA. *Conservation and Preservation of Stained Glass*. Actas de la Conferencia Internacional celebrada en Lunteren (Holanda), 1981. Central Research Laboratory for Objects of Art and Science, Amsterdam. Department for the Preservation of Monuments and Historic Buildings, Zeist.
- VV.AA. *Glaskonservierung - Historische Glasfenster und ihre Erhaltung*, en "Arbeitshefte" 32, 1985. Bayerischer Landesamt für Denkmalpflege.
- VV.AA. *Verrières Extérieures et problèmes de conservation des vitraux*, en "CVMA NewsLetter" 45 (1994). Actas del "Forum international sur la conservation et la technologie du vitrail historique", celebrado en Chartres (Francia), 9 al 11 de Octubre de 1989.
- VV.AA. *Stained Glass - Conservation of Monumental Stained and Painted Glass*. 10th General Assembly ICOMOS. International Scientific Committee Comité Technique du CVMA – Comité International pour le Vitrail de l'ICOMOS. Actas de la Asamblea celebrada en Colombo (Sri Lanka) 30 Julio – 4 Agosto de 1993. Recopilado y Editado por Ernst Bacher
- VV.AA. *Conservation et Restauration des Vitraux*. Actas de las Jornadas de estudio del Centre International du Vitrail (Chartres), celebradas en Bourges (Francia), 28-29 de octubre de 1993.
- VV.AA. *Restaurierung und Konservierung historischer Glasmalereien*. Actas del Coloquio celebrado en el Römisch-Germanischen Museum de Colonia (Alemania), 22 y 23. Noviembre 1995.
- VV.AA. *Grisaille, Jaune d'Argent, Sanguine, Émail et Peinture a Froid. Forum sur la Conservation et la technologie du vitrail historique*. Actas del 2^{ème} Forum internacional del CVMA celebrado en Lieja (Bélgica), 19-22 Junio de 1996. Publicado como "Dossier de la Commission Royale des Monuments, Sites et Fouilles", nº 3.
- VV.AA. *Doorgelicht*, en "G.I.C" (Glaskunst Informatie & Documentatiecentrum) nº 1. Actas del coloquio celebrado en Amberes (Bélgica), 10-11 Octubre 1996.
- VV.AA. *Gemeinsames Erbe Gemeinsam erhalten – Conservation Commune d'un Patrimoine Commun*. I Statuskolloquium des Deutsch-Französischen Forschungsprogramms für die Erhaltung von

- Baudenkmälern. 1^{er} Colloque du Programme Franco-Allemand de Recherche pour la Conservation des Monuments Historiques. Coloquio Celebrado en Karlsruhe (Alemania), 24-25 Marzo de 1993.
- VV.AA. *Gemeinsames Erbe Gemeinsam Erhalten – Conservation Commune d'un Patrimoine Commun*. II. Statuskolloquium des Deutsch-Französischen Forschungsprogramms für die Erhaltung von Baudenkmälern. 2^{ème} Colloque du Programme Franco-Allemand de Recherche pour la Conservation des Monuments Historiques. Coloquio Celebrado en Bonn (Alemania), 12-13 Diciembre de 1996.
- VV.AA. *Leadwork, Ferramenta and Fixing Materials for Historic Stained and Painted Glass*, en "CVMA Newsletter" 47 (2000). Actas del "3ème Forum international sur la conservation et la technologie du vitrail historique", celebrado en Fribourg (Suiza), 24 - 27 de Junio de 1999.
- VV.AA. *Le vitrail comme un tout: histoire, techniques, deontologie des restitutions et compléments*, en "CVMA Newsletter" 48 (mayo 2001). Actas del "4e forum international sur la conservation et la technologie du vitrail historique" celebrado en Troyes-en-Champagne (Francia) 17 - 19 de Mayo de 2001.
- VV.AA. *La Restauration des Vitraux: I - II*, en "Vitrea", vitrail, verre, architecture. N° 7 (volumen doble), 1991. Revue du Centre International du Vitrail.

Conservación, restauración y estudio de vidrieras en España

- Carmona, N., Villegas, M.A. y Fernández Navarro, J.M., *Vidrieras históricas: restauración y conservación*, en las Actas del II Congreso Internacional "Restaurar la Memoria", AR&PA, celebrado en Valladolid en Noviembre de 2000.
- Carmona N., *Estudio de los procesos de alteración de vidrieras históricas y de los tratamientos para su restauración y protección*. Tesis doctoral. Universidad de Valladolid. 2002. No publicado.
- Cortés Pizano, F., *De glasramen van de Kathedraal te León. Verweringsfactoren en Conserveringstechnieken (Las vidrieras de la catedral de León: factores de deterioro y técnicas de conservación)*. Proyecto fin de carrera presentado en la Real Academia de Bellas Artes de Amberes, Bélgica. Septiembre de 1998. No publicado.
- Cortés Pizano, F., *Medieval window leads from the Monastery of Pedralbes (Catalonia) and the Cathedral of Altenberg (Germany): a comparative study*, en "CVMA Newsletter" 47 (2000), pp. 25-31.
- Cortés Pizano, F., *Estudio del plomo medieval en las vidrieras del Monasterio de Pedralbes*, en "Materiales de Construcción", Vol. 50, n° 259, Julio, Agosto, Septiembre 2000, pp. 85-95.
- Cortés Pizano, F., *Principios básicos sobre las vidrieras y su conservación*, en "Butlletí de Conservació – Restauració" de l'Associació professional dels Conservadors - Restauradors de Catalunya, n° 32, Marzo 2000, pp. 16-22.
- Cortés Pizano, F., *Acristalamiento Isotérmico de protección para vidrieras*, Parte I, en "R&R", n° 42, Julio 2000, pp. 70-75.
- Cortés Pizano, F., *Acristalamiento Isotérmico de protección para vidrieras*, Parte II, en "R&R", n° 43, Agosto 2000, pp. 70-75.

- Cortés Pizano, F., *Reconstruction of two 18th century rose windows in the Cathedral of Girona, Spain*, en "CVMA Newsletter" 48 (mayo 2001), pp. 79-87. Hors-série 2001. Bulletin "Le vitrail comme un tout". Actas del "4e forum international sur la conservation et la technologie du vitrail historique": *Le vitrail comme un tout, histoire, techniques, deontologie des restitutions et compléments*, Troyes-en-Champagne, Francia, 17, 18 y 19 de Mayo del 2001.
- Cortés Pizano, F., *Programa de Conservación y Restauración de las Vidrieras de Enrique Alemán en la Catedral de Sevilla*, en las Actas de las "I Jornades Hispàniques d'Història del Vidre" Sitges, 30 de Junio, 1-2 Julio 2000. Monografies 1. Museu d'Arqueologia de Catalunya. Barcelona, 2001, pp. 373-381.
- Cortés Pizano, F., *La aplicación de vidrios de doblaje en la restauración de vidrieras. El caso de la Catedral de Girona y la Iglesia de Sant Ramon de Penyafort, Barcelona*, en las Actas de las "III Jornadas de los Conservadores de las Catedrales", celebradas en el Colegio Mayor de San Ildefonso, Rectorado de la Universidad de Alcalá de Henares, Madrid, los días 1, 2, 3 y 8, 9, 10 de Marzo de 2002.
- Fernández Navarro, J.M., *El vidrio*. C.S.I.C. Centro Nacional del Vidrio. Madrid, 1991.
- Fernández Navarro, J.M. y La Iglesia, A., *Estudio de la coloración roja y amarilla de dos vidrios de la Catedral de Toledo*, en "Bol. Soc. Esp. Cerám. Vid.", 33, (6), pp. 333-336, (1994).
- Fernández Navarro, J.M., *Procesos de alteración de las vidrieras medievales. Estudio y tratamientos de protección*, en "Materiales de construcción" (El vidrio en la construcción), CSIC, Vol. 46, (1996), pp. 5-25.
- García-Heras, M., Villegas, M. A., Cano, E., Cortés Pizano, F. y Bastidas, J.M., *A conservation assessment on metallic elements from Spanish Medieval stained glass windows*, en "Journal of Cultural Heritage" 5 (2004) pp. 311-317.
- García-Vallés, M. y Vendrell-Saz, M., *The glasses of the transept's rosette of the cathedral of Tarragona: characterisation, classification and decay*, en "Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidrio", vol. 41, nº 2, Marzo - Abril 2002, pp. 217-224.
- Gimeno, D. y Pugès, M., *Caracterización química de la vidriera de Sant Pere i Sant Jaume (segundo cuarto del siglo XIV, Monestir de Pedralbes, Barcelona)*, en "Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidrio", vol. 41, nº 2, Marzo - Abril 2002, pp. 225-231.
- Pugès i Dorca, M., Julià i Capdevila, J.M^a Calmell i Ibàñez, A. Gimeno i Torrente, D., Beseran i Ramon, P. y Cortés Pizano, F., *La restauració del vitrall de Sant Pere i Sant Jaume de l'església del Reial Monestir de Santa Maria de Pedralbes*, en Actas de las "I Jornades Històriques de Historia del Vidre" Sitges, 30 de Junio, 1-2 Julio 2000. Monografies 1. Museu d'Arqueologia de Catalunya. Barcelona, 2001, p. 359-371.
- Roselló Olivares, M., *Restauración de dos vidrieras de la Catedral de Astorga (León)*, en las Actas del "XI Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales", celebrado en Castellón entre los días 3 y 6 de Octubre de 1996, Volumen II, pp. 901-914. Diputació de Castelló.
- Rubio, J., Morales, F. y Oteo, J. L., *Problemática de la degradación de vidrieras y alternativas planteadas*, en las Actas del Congreso Internacional "Rehabilitación del Patrimonio arquitectónico y edificación", celebrado en La Laguna, Tenerife. Canarias entre los días 13 y 18 de Julio de 1992.
- Sánchez, A., Herraes, M. I., Roselló, M. y Valentín, N., *Análisis de alteraciones de las vidrieras de la Catedral de Astorga, León (España). Sistemas de limpieza por medio de "pappetas" modificadas*. 1996.

- Valentín, N., Cortés Pizano, F. y Sánchez, A., *La conservación de vidrieras históricas. Estudios preliminares sobre la aplicación de sistemas gelificados*, en "Conservación de vidrieras históricas". Actas del Congreso Internacional celebrado en la U.I.M.P. de Santander (España) el 4-8 de julio de 1994. Paul Getty Institute.
- Villegas, M.A., M.A. García, J. Llopis y F.J. Alguacil, *Sensores de pH medioambiental aplicables en la conservación preventiva de vidrios históricos*, en "Monografías CYTED" (en prensa).
- VV. AA. Actas del Congreso Internacional "Conservación de vidrieras históricas", celebrado en la U.I.M.P. de Santander entre los días 4 y 8 de julio de 1994.
- VV. AA. Actas de las "Jornadas Nacionales sobre Conservación y Restauración de Vidrios", celebradas en la Fundación Centro Nacional del Vidrio, La Granja de San Ildefonso, Segovia, entre los días 30 de Septiembre y 2 de Octubre de 1999.
- VV. AA. Actas de las "I Jornades Hispàniques d'Història del Vidre" celebradas en Sitges, Barcelona, entre los días 30 de Junio y 2 de Julio de 2000. Monografies 1. Museu d'Arqueologia de Catalunya. Barcelona.

Texto publicado como parte del libro "La ciencia y el Arte. Ciencias experimentales y conservación del patrimonio histórico", capítulo V (Ejemplos de aplicación. El arte como objeto científico), sección 5.5, pp. 234-258. Libro publicado con motivo de la Jornada "La Ciencia del Arte. Ciencias Experimentales y Conservación del Patrimonio", celebrada en el IPHE de Madrid entre los días 28 y 30 de Junio del 2006.