La iluminación de un bien cultural:

Problemas conservativos y nuevos avances



Raniero Baglioni

Conservador-restaurador de bienes culturales.
Asesor técnico de Conservación Preventiva
del Centro de Intervención del Instituto
Andaluz del Patrimonio Histórico de Sevilla

os problemas que conciernen a la conservación de las obras de arte en los museos o en las exposiciones temporales, son extremadamente delicados y complejos. Los estudios desarrollados en este sector en los últimos años han puesto en evidencia cual es el tipo de deterioro que puede poner en peligro un material según su naturaleza y su composición. En general se piensa que los peores daños pueden ser causado por los robos, por los actos de vandalismo o por el inadecuado mantenimiento. No faltan también las situaciones excepcionales (terremotos e inundaciones) que a menudo comprometen de manera definitiva el disfrute del Patrimonio. Es por ello que es importante intentar conocer los peligros y los riesgos que lo amenazan para protegerlo y construir ambientes adecuados que puedan preservarlo.

También en este sector no existe, por principio, una solución optima o técnicamente perfecta; existen so-

luciones imperfectas, producidas por conocimientos imperfectos de los problemas, derivadas de una instrumentación imperfecta. Nuestro deseo constante de proporcionar estabilidad, precisión, y soluciones definitivas a la conservación del Patrimonio está totalmente en contraste con la imprecisión de los datos a elaborar. El periodo temporal necesario para verificar las investigaciones y las experimentaciones, no son a menudo compatibles con la prisa con la cual se realiza una intervención, perjudicando la validez de las conclusiones, sobre todo, cuando una solución técnica viene aplicada ampliamente sin las necesarias garantías.

La iluminación natural y artificial de los bienes culturales, ha sido desde siempre un sector en el cual se ha trabajado sin tener suficientes datos ni experimentaciones especificas aplicadas al campo de la conservación de los bienes que integran el Patrimonio.

La luz, con independencia de su naturaleza, es enemiga de la conservación. Un concepto difícil de asimilar pero fundamental para individuar donde, cómo y cuándo la luz se puede utilizar y en que medida, limitando los daños que puede provocar. Pero también, si la luz es enemiga de la conservación, es también indispensable para la visión de cualquier cosa u objeto que tiene que ser examinado, estudiado, o admirado. El contraste que existe entre estas dos actuaciones necesarias como son, la conservación y la visión, son la pesadilla de los museólogos y de los museógrafos, sobre todo desde cuando se descubrió la nociva acción de las radiaciones ultravioletas y infrarrojas presentes tanto en la luz natural como en la artificial.

Los elevado niveles de iluminación, utilizados en los estándares americanos y europeos de los edificios de uso domésticos y sobre todo en las oficinas y en los lugares de trabajo, ha creado la costumbre de apreciar los colores y las formas a través de valores de luminancia desde 250 lux hasta un máximo de 1000 lux. Los escaparates de las tiendas han difundido un tipo de iluminación muy compleja y pormenorizada en grado de acentuar y valorizar los productos según su color y forma. Este tipo de luz y de iluminación, muy difundido en todo el mundo, ha creado en todos nosotros un grado de exigencia muy elevado, fácilmente solucionable en ámbito domestico, de trabajo y lúdico. Pero toda esta cultura de la iluminación entra en contraste cuando queremos contemplar una obra de arte en su ambiente original, por ejemplo, una obra creada para ser admirada sobre un altar, iluminada por pocas velas y rodeada por la obscuridad y la penumbra de la arquitectura.

Hoy día seria impensable exponer una obra de arte en una condición de semioscuridad, también si tenemos la posibilidad y la sensibilidad física de poder, en pocos segundos, adaptarnos a la nueva realidad de poder apreciar en detalle un objeto. Pero la costumbre de ver las cosas con unos niveles muy elevados, juega siempre en contra de poder disminuir la potencia de las fuentes luminosas provocando descontento y una no razonable predisposición, por parte del publico, para comprender las razones por las

cuales se han tomado unas series de decisiones prudenciales sobre el tipo de iluminación y los niveles de luminancia a adoptar para iluminar unos materiales tan delicados, como los que nos ocupan.

El contraste existente entre las expectativas del publico y la actitud justamente prudencial de los conservadores y de los museógrafos, podría encontrar una satisfactoria vía de compromiso, si existiera realmente la posibilidad de eliminar los efectos dañinos de la luz. En la actualidad las nuevas teorías y las experimentaciones recientes que se han producidos en este campo nos permiten afirmar que es posible llegar al compromiso anteriormente mencionado, como veremos más adelante.

Llegados a este punto me gustaría clarificar y profundizar mas en la problemática derivadas de la iluminación y a sus efectos sobre los materiales constitutivos de una obra de arte.

La luz, como hemos dicho antes, es necesaria para la visión de los objetos; sin embargo, el poder de degradación que ejerce sobre ciertos materiales hace necesario su control por encima de consideraciones estéticas que desdeñen los criterios de conservación.

La luz es considerada como un fenómeno ondulatorio y puede ser definida como una pequeña porción del espectro de las vibraciones electromagnéticas (que ocupa una extensísima gama de longitud de onda) y es precisamente la porción del espectro visible que está situada entre las radiaciones de elevada frecuencia (rayos gama y rayos x) los rayos ultravioletas, y las radiaciones de longitud de onda superior a los 760 nm, es decir, los rayos infrarrojos y las ondas hertzianas (radar, tv, fm, radio).

NATURALEZA DE LA IRRADIACIÓN

La luz emitida por el sol, el cielo, las lámparas de descarga o incandescentes, puede ser dividida en tres bandas, en orden creciente de longitud de onda. Podemos clasificarla en función de la fuente luminosa en: Luz natural y Luz artificial.

Antes de explicar los distintos tipos de fuentes luminosas, conviene aclarar que cualquier tipo de luz: natural o artificial, emite normalmente radiaciones visibles y radiaciones no visibles al ojo humano, según la zona del espectro en que se sitúen.

Radiaciones ultravioleta: Son aquellas radiaciones cuya longitud de onda es inferior a 400 nanómetros. Estas radiaciones son invisibles y por esta razón se les denomina "Luz Negra". Producen generalmente efectos fotoquímicos tanto más intenso cuanto más corta sea la longitud de onda. Son pues las más dañinas para los bienes culturales, particularmente para los constituidos por materia orgánica.

Los efectos fotoquímicos son más graves para las sustancias poco estables (aglutinantes y pigmentos).

La luz visible: Comprendida entre 400 nanómetros y 750 nanómetros. Provoca una amplia variedad de daños porque posee unos fotones energéticos que golpean al objeto durante mucho tiempo.

Radiaciones infrarrojas: Son de longitud de onda superior a 750 nanómetros, son radiaciones invisibles que pueden provocar reacciones químicas en los materiales constitutivos de la obras de arte, sólo cuando hay una elevación sensible de la temperatura.

Un aumento de temperatura entraña:

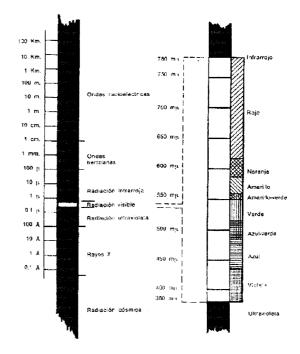
- a) Un aumento de la velocidad de los procesos de alteración química.
- b) La dilatación de los materiales, muy peligrosa para los objetos compuestos (materia orgánica e inorgánica) o para materiales como los barnices y aglutinantes, pues se observa en este caso un aumento de su tensión interna.
- c) Un aumento de la actividad biológica. (Vease foto N°I)
- d) Una modificación de la humedad relativa.

Entrando mas en detalle, los posibles efectos fotoquímicos de la luz sobre un material se pueden expresar por la sensibilidad al daño de ese material y por la energía absorbida por el. Por consiguiente, a una iluminación dada, la energía recibida por el material, es inversamente proporcional a la longitud de onda; a medida que ésta se va haciendo más corta, la energía asociada va creciendo, y con ella la probabilidad de un deterioro fotoquímico. Esto significa que el ultravioleta, en toda su longitud de onda (cercano, lejano, etc.) es la radiación que tiene mayor potencial para causar daño. El aumento de temperatura de un objeto influirá en la velocidad con la cual se producirán las reacciones químicas, esta se manifiesta de dos maneras diferentes: crecerá la agitación general de átomos y moléculas (efecto físico), es decir, se incrementará su energía cinética, y de consecuencia, la velocidad de la reacción química también aumentará (efecto químico), con una reducción del contenido de humedad presente en el material. De aquí se deriva la necesidad de estudiar y evaluar la tipología de las radiaciones luminosas que inciden sobre el objeto con vista a que su correcta visión no interfiera a medio o largo plazo con su conservación.

Todas las radiaciones visibles e invisibles, ya sean de origen natural o artificial, potencian la aparición de deterioros en las obras de arte: amarilleo, desecación, decoloración, destrucción.

Algunos materiales son más afectados que otros según su aptitud a absorber la energía, como hemos visto anteriormente, prescindiendo de las diferentes teorías físicas sobre la naturaleza y la propagación de la luz (teoría cuántica y teoría electromagnética), podemos afirmar utilizando las palabras del Prof. Feller que :"La luz es energía. Todo cambio químico requiere energía. La mayor parte de los cambios de color superficial reciben esa energía de la luz".

Fig. 1. El espectro electromagnético y el "margen visible"





Independientemente de la fuente de iluminación, ambos tipos de radiación no visible han de ser controlados de forma que la radiación Infrarroja (IR) no eleve la temperatura (T) de los objetos, especialmente en vitrinas y lugares reducidos, ni afecte a la T y/o la Humedad relativa (HR del aire), y la radiación ultravioleta (UV) no supere los 75mw/lúmen.

Se sabe que algunos materiales son mas sensible a la luz que otros, dependiendo de la capacidad intrínseca que el material tenga para absorber la energía radiante y ser afectado por ella. Lo que significa que

Foto I: Desarrollo microbiológico (algas) debido a variaciones climáticas provocadas por una fuente de luz incandescente.

muchos materiales se deterioran y decoloran por su exposición a la luz. Muchos objetos de museo, pueden estropearse progresivamente e incluso llegar a destruirse si están iluminado continuamente para su exhibición al publico. En ocasiones, la destrucción parcial de materiales y colores puede derivar en una deformación estética que llegue a confundir a los estudiosos del arte. Algunos objetos de museo son insensibles a la luz, otros son sensibles de una manera moderada y otros, en cambio, lo son tanto que tras unos cuantos meses de estar expuestos llegan a cambiar de aspecto.

Los materiales sensibles a la luz pueden agruparse como sigue:

- Pigmentos y tintes (incluidas las tintas).
- Fibras textiles (naturales y artificiales).
- Papel, madera y otros materiales celulósicos.
- Películas finas de materias orgánicas, tales como proteínas, resinas y gomas (tanto naturales como artificiales) utilizadas como vehículos para las pinturas, los barnices y los adhesivos.
- Otros materiales orgánicos.

El grado de deterioro de los materiales en determinadas condiciones de iluminación depende mucho de su composición química. El papel y la madera tienen semejanzas química con otros materiales celulósicos tales como el lino y el algodón; las películas proteínicas del tipo de cola animal y de la pintura al temple de huevo tienen similitudes con otras fibras, también proteínicas tales como la lana y la seda.

También hay que recordar que existen interacciones entre los pigmentos y los medios pictóricos, así como entre los tintes y las fibras. Como consecuencia de todo ello, cualquier discusión acerca de la decoloración de un pigmento o tinte carece de sentido si se toma aisladamente, hay que especificar siempre la combinación de pigmento y medio, o de tinte y fibra. Un tinte puede ser permanente en una fibra dada y desaparecer rápidamente en otra, o incluso puede resultar permanente, pero acelerar la degradación de la fibra a causa de la luz.

Muchos materiales inorgánicos, metales y minerales, incluyendo la joyería, cerámica y diferentes formas de piedras, no son afectadas en absoluto por la luz.

Los vidrios, incluidos los sometidos a fuego y pintados, lo mismo que los esmaltes vítreos, pueden considerarse por lo general poco sensibles a la influencia de la luz, aunque también se encuentran referencias en la bibliografía especializada a ligeros cambios atribuibles a ésta.

En resumen podemos afirmar que, antes o después, un material sensible a la luz que ha sido iluminado está condenado a alterarse, y después a desaparecer. Este fenómeno puede permanecer estable durante algunos años o algunos siglos, según la intensidad y la duración de la emisión, la naturaleza de la irradiación y la del objeto iluminado.

- Las piedras, las cerámicas, los metales y sus aleaciones son bastante poco sensible a las radiaciones. Sin embargo, los vidrios y esmaltes expuestos durante mucho tiempo a una radiación intensa pueden sufrir alteraciones.
- Todos los objetos que contienen materias orgánicas son extremadamente frágiles: papiros, papeles, dibujos, acuarelas, pasteles, cartas, archivos, obras manuscritas e impresas, pinturas, cueros y pieles, cubiertas, vitelas, pergaminos, textiles, tapicerías, tejidos, vestidos, maderas naturales o policromas, plumas, especímenes de historia natural, vegetales y animales, marfil, hueso, escamas.
- Los materiales sintéticos modernos son menos resistentes de lo que se piensa normalmente; algunas obras realizadas total o parcialmente con estos materiales presentan una gran fragilidad, principalmente cuando las técnicas de aplicación no han sido realizadas con habilidad suficiente.

COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES A LA ILUMINACIÓN:

Después de haber visto cuales son las radiaciones, y cuales pueden ser los factores físicos y químicos que pueden afectar a la conservación de una obra de arte, me parece oportuno presentar pormenorizadamente los diferentes materiales sensibles a la luz y cuales son sus comportamiento a la misma, siguiendo para ello el informe C. I. B. S.I

Pigmentos y tintes:

La decoloración de los pigmentos se produce de un modo más notable en las capas de pintura más finas, por ejemplo en las acuarelas. En ellas las partículas de los pigmento están repartidas en una capa simple, con muy poco medio aglutinante. La decoloración de una capa simple de partículas de pigmento no se notaria en una pintura al óleo, pero es muy apreciable en una acuarela. Al mismo tiempo, como el espesor de la capa de pintura es tan pequeño, la penetración de la radiación es mucho mayor. Los efectos pueden ser tan desastroso que ya en 1886 se creó en Inglaterra un comité gubernamental para estudiar el asunto, llegándose a la conclusión que unos pigmentos son más fugitivos que otros y que la luz, la humedad y el oxigeno eran los elementos necesarios para que se produjese el daño. En general, estas conclusiones siguen siendo validas hoy en día, aunque se sabe que el efecto del oxigeno es mas complicado de lo que se creía al principio.

Algunos pigmentos, como el ocre Van Dyck, sepia, añil, carmín y gutiámbar, que siempre han sido populares entre los acuarelistas, son particularmente susceptibles al daño y se decoloran con rapidez si están expuestos a la luz. Si una acuarela se decolora uniformemente en toda la superficie, la pérdida de brillo resultaría deplorable, pero seguiría apreciándose la

calidad estética esencial de la pintura. Pero, por desgracia, los colores se atenúan selectivamente, desapareciendo unos a la vez que permanecen otros, lo que tiene como resultado una gran distorsión en las relaciones cromáticas de la obra. Al desaparecer los componentes más débiles de una mezcla, el color que queda es completamente distinto de lo que era originalmente y el efecto producido por lo común es una pintura más dura y menos sutil.

La evolución de los pigmentos de la acuarela no se ha visto marcada por un progreso constante hacia la permanencia. Desde el siglo XVIII hasta hoy, algunas de las nuevas aportaciones han demostrado ser resistentes a la luz, pero otras son decolorables, hasta tal punto, que los modernos acuarelistas no pueden fiarse a la hora de elegir una paleta de colores estables y permanentes. Por eso hay que aceptar que las acuarelas son "artículos fungibles", desde el punto de vista de la conservación no deberían exponerse en absoluto.

Este comportamiento en presencia de la luz es también cierto, aunque tal vez en menor grado, en el caso de las miniaturas pintadas con algunos de los medios solubles en agua. si bien el efecto de decoloración es menos apreciables, la atenuación de los matices tenues de la carnación pueden deformar gravemente los valores cromáticos.

Cuando se trata de pinturas al óleo, la situación mejora en su conjunto. La protección de los pigmentos por el aglutinante y de la capa pictórica por el barniz, además de la compleja interacción química entre pigmento y medio, puede tener como consecuencia una mayor resistencia a los efectos de la luz. La decoloración y los cambios de color resultan menos obvios, y únicamente cuando se descubren partes de una pintura que hayan estado cubiertas u ocultas por otra pintura posterior o por el reborde de un marco es cuando aparecen cambios aparentes en la zona que había quedado expuesta. Los cambios más apreciables suelen encontrarse entonces en los matices transparentes de los pigmentos del tipo "laca", en los que se emplean tintes vegetales por el estilo del carmín, la rubia y el roble americano, "fijados" en oxido de aluminio o creta. El cambio que puede producirse en el resinato de cobre transparente, desde un verde brillante hasta convertirse en un marrón opaco oscuro, es probablemente una de las variaciones cromáticas que influyen más negativamente en la percepción estética de la obra. este material se utilizó ampliamente desde el ultimo periodo medieval hasta el siglo XVIII.

La atenuación de los tintes expuestos a la luz suele ser grave cuando se usan en labores tales como bordados y tapices, y se puede poner de relieve comparando la parte frontal con la que no haya estado expuesta (Véase foto n° 2). La decoloración de los trajes queda revelada cuando se comparan las partes ocultas de solapas y dobleces con las que han quedado al exterior, o cuando se examina la parte de tejido bajo las costuras. Los que tienen a su cargo la

conservación de los trajes son de lo mas conscientes de los efectos de la luz, ya que están familiarizados con la situación que se presenta cuando algunos trajes apenas usados de, por ejemplo, el siglo XVIII, que han sido conservado por sus propietarios en armarios roperos, bien envueltos y sin luz, se exponen en un museo. A menos que se tomen precauciones especiales, la decoloración bajo la luz normal del museo puede llegar a ser tan rápida que al cabo de pocos meses se notará sus efectos perfectamente en los trajes expuestos.

Muchos de los objetos de historia natural que se exhiben en los museos entran dentro de esta categoría. Algunos de los tonos de pelo y pieles son muy fugitivos y estos materiales deben considerarse entre los más sensibles a la luz.

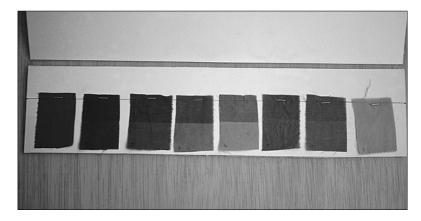


Foto 2: Decoloración de muestras de tejidos teñidos, después de haber sido expuestas a la luz natural.

Fibras textiles:

Las molécula celulósicas y proteínicas de las fibras vegetales y animales del algodón, la lana y la seda carecen de color y no quedan afectadas por la luz tan rápidamente. Pero en las telas, donde las fibras van asociadas con tintes, mordientes, aprestos, pigmentos, colorantes y polvo, se producen reacciones complejas bajo la influencia de la luz. Una de tales reacciones puede hacer que las fibras se debiliten o "ablanden", como resultado de que las moléculas largas a las que deben precisamente su resistencia se rompan. Estas debilitación se hace patente sobre todo en los tapices, donde los hilos de la trama, que configura el dibujo, suelen ser de lana, utilizandose seda en los lugares que hay que resaltar. La lana se conserva por lo general en un estado de presentación aceptable, en tanto que la seda se degrada hasta un punto tal que se convierte en polvo al ser tocada. La degradación de banderas y estandartes de seda por la acción de la luz es desde hace mucho tema de preocupación internacional. Ademas de ocasionar la debilitación de las fibras, las complejas reacciones fotoquímicas que tienen lugar pueden llegar a originar productos de descomposición coloreados capaces de teñir las fibras. Ademas, la degradación fotoquímica aumenta la sensibilidad de las fibras celulósicas al ataque por las soluciones débilmente alcalinas usadas para el lavado.

Papeles y maderas:

Expuestos a la luz, el papel se hace quebradizo y se decolora de un modo muy parecido a como se degrada el algodón. La estabilidad de los papeles depende de su calidad, disminuyendo progresivamente desde el nuevo de trapos, pasando por el sulfatado, hasta el de periódico. Una sola mañana de exposición al sol decolorará visiblemente un periódico. (Véase foto N°3) Algunas maderas de mobiliario, tales como caoba y nogal, se blanquean por la acción de la luz; el nogal, el palo rosa y el sicomoro se vuelven amarillos; otros como la teca, se oscurecen. Ciertas maderas, incluyendo la de embalajes, acebo, arce, abeto, haya, abedul, olmo, pino y sicomoro, pueden protegerse eficazmente contra la decoloración filtrando la radiación ultravioleta de la luz (con algún filtro amarillo).

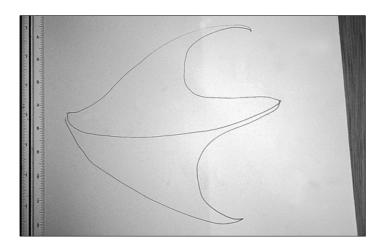


Foto 3: Alteración cromática, de una hoja de papel, después de haber sido expuesta a la luz natural

Pinturas, barnices y adhesivos:

El efecto de la luz sobre vehículos proteínicos utilizado en pintura, tales como el huevo y la cola, no es suficientemente acusado como para hacer que el conservador lo considere problema por el momento. No obstante, se sabe que la luz desempeña un cierto papel en el comportamiento químico de los aglutinantes (aceites secativos) y que con toda probabilidad contribuye a su desintegración final.

Donde los efectos de la luz resultan tremendos por su daño en esta clase de materiales es en el terreno de los barnices con base de resina natural o sintética. Los barnices de resinas naturales utilizados en pintura y mobiliario están todos sujetos a decoloración. Las resinas duras disueltas en aceite, así como las solubles en alcohol "llamadas blandas", son mas o menos inestables: la luz no solo las decolora, sino que acelera su deterioro. Por lo contrario, la goma laca, que probablemente ya se usaba en muebles antes del siglo XIX, pero que desde entonces se ha aplicado de un modo extensivo, no se decolora en grado muy apreciable.

La decoloración de los barnices de muebles (distintos de la goma laca) no se ha investigado a fondo, y se sabe poco del grado en que se deteriora el aspecto estético. Se cree que las lacas orientales pueden ser moderadamente sensibles a la luz. Los medios usados

por las lacas europeas son completamente diferentes de los orientales. Puede ser goma laca o cualquier resina soluble en alcohol, o combinaciones de aceites y resinas fósiles. Por eso su comportamiento queda cubierto con los comentarios anteriores.

56

Los pigmentos de las lacas orientales y europeas suelen ser permanentes, aunque no de un modo invariable.

La mayor parte de las pinturas están barnizadas con barnices a base de resinas mastic o dammar, mezclados a veces con aceites secativos. Se puede comprobar que amarillean al cabo de cinco años desde su aplicación. Es muy conveniente reducir en todo lo posible la velocidad de decoloración, no ya solo porque los barnices son intrínsecamente valiosos o satisfactorios como medios protectores, sino para poder diferir cuanto más mejor el momento en que hayan de ser eliminados.

Los barnices sintéticos utilizados en la actualidad son mas estables ante la luz que las resinas naturales, pero, por razones técnicas, no se pueden usar siempre y en todo lugar. El problema de la protección contra los efectos dañinos de la luz sigue sin estar resuelto del todo.

Otros materiales orgánicos:

La Estabilidad ante la luz de otros materiales orgánicos, tales como el cuero y las plumas, parece no haber sido estudiado sistemáticamente en las condiciones particulares de los museos (también para la escasez del material en cuestión). La observación del comportamiento del cuero, en particular, se complica como consecuencia de los diferentes tratamientos existentes de curtido y teñido. Los tintes en sí, como es natural, pueden estar sujetos a decoloración.

Reasumiendo podemos afirmar que, hay de tener en cuenta, que la luz, como hemos visto anteriormente, es una parte de la radiación electromagnética que va acompañada de otras radiaciones no visibles (UV, IR) Su control se puede efectuar sobre la composición de la radiación, el nivel de iluminación y el tiempo de exposición. Como los efectos fotoquímicos son acumulativos, estos dos últimos factores se pueden relacionar inversamente, de forma que cuanto mayor sea la iluminación menor ha de ser el tiempo de exposición y viceversa.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN A LOS RAYOS LUMINOSOS

Los límites recomendados de exposición a los rayos luminosos adoptados actualmente por las principales instituciones de conservación (ICOM, ICCROM, IES, etc.) son los siguientes, según la clasificación que se hace de los objetos artísticos en relación a la vulnerabilidad a las radiaciones luminosas de:

 Objetos muy sensibles: acuarelas, textiles, tapicerías, vestidos, impresiones, dibujos, sellos, laminas, manuscritos, miniaturas, tapicerías murales, cueros teñidos, especímenes de historia natural.

- Objetos moderadamente sensibles: pintura al óleo, temple, cueros naturales, objetos lacados, madera, cuerna, marfiles.
- Objetos pocos sensibles: metales, cerámicas, minerales, joyas, vidrios, esmaltes, esculturas no policromas en piedra.

No es suficiente controlar la ausencia de las radiaciones más peligrosas. Es preciso aún verificar que la fuente luminosa (debido a la radiación visible) no sobrepase el máximo aconsejado. Según la naturaleza de los materiales expuestos, son recomendables unos niveles específicos de iluminación:

NIVELES ESPECÍFICOS DE ILUMINACIÓN

En cuanto a la duración de intensidad de la radiación, se recomienda limitar solo al tiempo útil la iluminación de los objetos, o más aún, iluminarlos por turnos y hacerlo de tal manera que ningún rayo incida directamente sobre los objetos frágiles. Incluso es recomendable en ciertos casos (objetos muy frágiles), estudiar la conveniencia de reemplazar los originales por copias o facsímiles. (Tabla 1)

Límites de exposición a los rayos luminosos

Los límites anuales recomendados de exposición a los rayos luminosos, de las tres categorías de objetos artísticos, para las principales Instituciones de Conservación (ICOM, ICCROM, IES, Ministerio de Cultura etc.) Son los siguientes: (Tabla 2)

A modo de resumen de lo expuesto hasta ahora podemos decir que la alteración de los objetos artísticos debido a la luz es tanto mas importante cuanto:

- El tiempo de exposición sea mas largo.
- La intensidad de la radiación global (en watios/m²) en la dirección del objeto sea mayor.
- La uniformidad de la iluminancia energética del objeto sea mala.
- La radiación contenga exceso de radiaciones azules, violetas y ultravioletas.
- La radiación ultravioleta sea de longitud de onda mas corta.
- La temperatura y la humedad ambiente sean más fuerte y conjuguen su acción.

Tabla 1

CATEGORÍA DE OBJETOS EXPUESTOS	FUENTES DE LUZ RECOMENDADA O admitidas	ILUMINACIÓN ACEPTABLE
Objetos muy poco sensibles a la luz (metales, cerámicas, minerales, joyas, vidrios, esmaltes, esculturas no polícromas en piedra).	 Tubos fluorescentes, de temperatura de color entre 4000 °K y 6000 °K. Lámparas incandescentes Pequeños proyectores o spots. Luz diurna controlada. 	No es necesario sobrepasar los 300 lux, salvo para destacar un punto particular.
La mayor parte de las categorías de objetos y especímenes (pintura al óleo, temple, cueros naturales, objetos lacados, madera, cuerno, marfiles).	Tubos fluorescentes de doble capa que no emitan ninguna radiación Ultravioleta, o falta de tales tubos, tubos fluorescentes corrientes de una Temperatura de color del orden de los 4000 °K, pero necesariamente combinados con el empleo de filtros UV (Rhodoglass 44, Transacryl AC, Uvecran,,). Si se admite la luz del día, deberán reducirse severamente los rayos infrarrojos y suprimir totalmente los ultravioletas.	Máximo de 150 a 180 lux en servicio.
Objetos particularmente sensibles a la luz (acuarelas, textiles tapicerías, vestidos, impresiones, dibujos, sellos, láminas, manuscritos, miniaturas, tapicerías murales, cueros teñidos, especímenes de historia natural).	Tubos fluorescentes de doble capa, de una temperatura de color del orden de 2900 °K, o tubos fluorescentes de capa simple, y de la misma temperatura de color, con la condición de suprimir totalmente su radiación ultravioleta por medio de filtros. N.B. La luz diurna deberá ser totalmente evitada.	No más de 50 lux y si es posible menos, con reducción severa del tiempo de exposición.

Tabla 2

CATEGORÍA DE OBJETOS Artísticos exposición	MÁXIMA ACONSEJADA Lux X Hora X Año.	ILUMINACIÓN MÁXIMA Aconsejada en Lux
Objetos poco sensibles	No limitada	300
Objetos moderadamente sensibles	180.000	75-150
Objetos muy sensibles	120.000 *	40-50

^{*} Aproximadamente: 50 lux x 8 horas /día x 300 días/año.

Extraído de: "La lumière et la protection des objets et spécimens exposés dans les musées et galeries d'art.

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS FUENTES LUMINOSAS

A la hora de seleccionar las fuentes de iluminación para iluminar un determinado bien cultural es necesario tener en cuenta una serie de consideraciones que nos determinarán los criterios de selección que emplearemos.

En primer lugar, sabemos que las radiaciones responsables de las degradaciones de los objetos que estudiamos no son todas visibles, ni están presentes en la misma proporción, sino todo los contrario, varían según el tipo de fuente de luz seleccionado.

En segundo lugar, conocemos que el estudio de la composición de la radiación emitida por la fuente luminosa es básico para controlar la incidencia nociva sobre el bien. Por ello es conveniente saber que no es suficiente controlar, en el sistema de iluminación seleccionado, la ausencia de radiaciones mas peligrosas, sino también, y más importante, verificar que la fuente luminosa no sobrepase los límites de iluminación máximos aconsejados para un determinado objeto.

Según un orden de prioridad los criterios de selección de las fuentes luminosas a emplear en la iluminación de bienes culturales son:

- La temperatura de color (°K) y la distribución espectral de la fuente luminosa, sobre todo la longitud de onda de las radiaciones ultravioletas y de las radiaciones infrarrojas.
- La vida media (Horas totales de funcionamiento) de las lámparas utilizadas.
- La eficiencia luminosa (lm/W) de las lámparas utilizada a fin de evaluar el consumo energéticos y las cargas térmicas introducidas en el ambiente.

CARACTERÍSTICAS DE LAS FUENTES LUMINOSAS

Las fuentes de iluminación las podemos clasificar en tres tipos: luz natural, de descarga e incandescencia.

Luz natural:

Ciertamente la luz natural es la iluminación más completa pero a su vez la más voluble, capaz tanto

de envolver con gran plasticidad un ambiente, como de ofrecernoslos como algo sombrío y triste.

La literatura especializada hace a menudo eco de la conveniencia o no de emplear la luz natural; uno de los principales argumentos que se utilizan para oponerse a su uso es la imposibilidad de poder controlar el flujo luminoso para adecuarlo a las exigencias conservativas. Esto es verdad en parte, porque existen al menos 52 métodos de calculo reconocidos por la Comisión Internacional de lluminación (CIE), a través de los cuales es posible cuantificar la iluminación natural en cualquier ambiente y sistema expositivo; siempre y cuando se compatibilice la conservación con la luz natural y se esté dispuesto a añadir sistemas sofisticados de control medioambiental.

Lámparas de descargas:

La luz de las lámparas de descarga no está producida, como en el caso de las lamparas de incandescencia, por el calentamiento de un filamento, sino por una descarga eléctrica en arco mantenida en un gas o vapor ionizado; algunas veces en combinación con la luminiscencia de los compuestos de fosforo excitados por la radiación generada en la descarga.

La lámpara, cuya ampolla tiene generalmente la forma de un tubo cilíndrico con un electrodo situado en cada extremo, contiene vapor de mercurio a baja presión y una pequeña cantidad de gas inerte para facilitar el encendido.

La superficie interior del tubo esta recubierta con un polvo fluorescente, o fósforo, cuya composición determina la cantidad y el color de la luz emitida.

Se caracterizan por la alta eficacia luminosa, su larga vida y su baja emisión de calor. La forma tubular permite instalarlas en cornisas o en el techo de las galerías.

Hoy se comercializan con muchas gamas de matices cromáticos que van de los tonos blanquecinos hasta los tonos cálidos, similares a las incandescentes o el blanco extra, similar a la luz solar en pleno día.

Son las más empleadas en la iluminación de obras de arte, pero también son las más nocivas por la radiaciones de UV que emiten. La acción de estas radiaciones potencian los cambios cromáticos en los pigmentos (palidecimiento) y favorecen la oxidación de los aglutinantes que se vuelven vidriosos y se separan.

Por ello si se quiere utilizar este tipo de lámparas hay que tener la precaución de filtrar siempre la luz emitida por ellas.

Lamparas de incandescencia:

La lámpara incandescente produce luz mediante el calentamiento eléctrico de un alambre (filamento) hasta una temperatura tan alta que la radiación emitida cae en la región visible del espectro. Deben dis-

tinguirse las lámparas con ampolla llena de gas halógeno (nitrógeno o argón) de las que no lo contienen.

Ofrecen una buena calidad de luz, resultando la más cálidas y acogedoras. Permiten distinguir bien los colores pero tienen el inconveniente de su menor duración en comparación con las fluorescentes y su elevado consumo de energía.

Por su tipología emiten rayos infrarrojos que recalientan los objetos y pueden alterar el microclima circundante dañando las obras.

Las lámparas incandescentes pueden ser de diferentes tipos:

- Lámparas de tipo común.
- Lámparas con óptica incorporada, tipo PAR.
- · Lámparas Halógenas.
- Lámparas de baja tensión o dicroicas.

Nuevos sistemas de iluminación:

Acerca de los nuevos sistemas de iluminación, que al inicio comentamos, el desarrollo tecnológico pone en el mercado toda una serie de fuentes luminosas, bien modificando y mejorando las existentes o bien inventando nuevos sistemas, siempre desde la óptica de su aplicación al campo de las obras de arte, haciendo compatible su exposición y presentación al público con su conservación.

En lo concerniente a las fuentes de descarga hoy día ya es posible la regulación del flujo de la fluorescencia. Ya no es un problema poder hacer una iluminación de vitrinas regulando el flujo luminoso entre un 75 y un 90% según los casos. Además aportando las siguientes ventajas adicionales: disminución del calor disipado, mejor reproducción cromática de las fuentes, utilizando balastro de alta frecuencia, y emisiones de frecuencias que impiden el desarrollo de un posible ataque microbiológico.

Para la incandescencia clásica, desde hace algunos años se ha empezado a utilizar unos nuevos métodos para la conducción y distribución de la energía luminosa por medio de sistemas que utilizan las características físicas de algunos materiales. Estos sistemas vienen denominados "Guías de Luz".

El mercado luminotécnico en este momento produce diferentes tipos de guías de luz:

- De emisión longitudinal, que puede ser de dos tipos; la guía de luz hueca y la fluida. Ambas, utilizan el principio de la difusión óptica, pero es muy difícil obtener con ellas haz de luz direccionable. (Vease foto N° 4)
- Sistemas de transportes y de emisión a través de fibras ópticas (fuentes puntiformes). Estos sistemas permiten una gran maniobrabilidad, pero tienen el inconveniente de no conseguir transportar grandes flujos luminosos. El ángulo de emisión es concen-

trado y por consiguiente, para obtener una uniformidad aceptable, es necesario realizar expositores o vitrinas de grandes dimensiones con el empleo de muchas fibras ópticas que, al iluminar objetos tridimensionales, produce múltiples y fastidiosas sombras, sin poder obtener en ningún caso una iluminación uniforme. (Vease foto N°5)

Como se puede observar, hoy día disponemos de una mayor variedad de sistemas de fuentes luminosas, pero decidir entre uno u otro es complejo, ya que si bien permiten solucionar algunos problemas, también acentúan otros.

El conocimiento de la problemática luminotécnica y el estudio pormenorizado de las exigencias conservativas, ha permitido poner a punto un sistema que representa hoy día la respuesta concreta a tales exigencias y que es la "guía de luz a emisión prismática". La experimentación de este nuevo sistema ha sido realizada por la primera vez en la iluminación del Museo-Sacristía de la Capilla Real de Granada. (Vease fotos Nº 6 - 7)

Este trabajo de estudio, investigación, y experimentación se ha podido realizar gracias al trabajo interdisciplinar entre especialistas de diferentes sectores e instituciones: luminotecnia, control del medio ambiente, conservación preventiva, arquitectónico, y por ultimo en estrecha colaboración con un laboratorio de inge-

Foto 4: Vitrina de prueba controlada climáticamente, utilizada para estudiar guías de luz huecas (sistema 3M, iluminación externa). Capilla Real Granada.



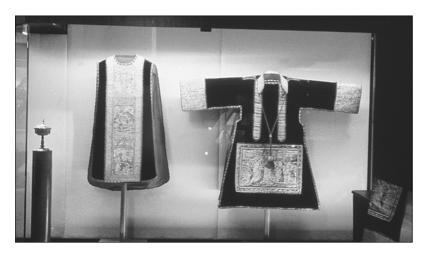
Foto 5: Vitrina para exponer el cofre perteneciente a la Reina Isabel la Católica utilizando fibras ópticas para su iluminación (Museo-Sacristía de la Capilla Real de Granada).

Foto 6: Vista lateral del montaje musegráfico de la colección pictórica del Muse-Sacristía de la Capilla Real de Granada. Sistema luminotécnico utilizado guías de luz a emisión prismática.

Foto 7: Vista frontal de la vitrina de la casulla y dalmática del terno fúnebre de la Emperaatriz Isabel. Museo-Sacristía de la Capilla Real de Granada. Sistema luminotécnico utilizado guías de luz a emisión prismática.







nierización y construcción de los aparatos luminosos². Gracias a esta colaboración ha sido posible poner a punto el sistema según un estricto protocolo científico correlacionado con las exigencias conservativas, obteniendo un producto en grado de garantizar las ventajas que exponemos a continuación:

 Solucionar las exigencias conservativas de iluminación en cuanto que se elimina completamente la radiación ultravioleta (mecanismo de degradación imputable a la luz) y se reduce el cargo térmico en mas de un 90% (debido al hecho que el material utilizado es un polímero acrílico que no transmite calor por convección interna) transformandola en una fuente prácticamente fría, y de consecuencia, disponer de la posibilidad de someter a las obras de arte a unos niveles de iluminación superiores a los normalizados a nivel internacional sin ocasionar daños en ellas.

- Anular la posibilidad de deslumbramiento ya sea primario que secundario³ gracias a la posibilidad de controlar el ángulo de emisión, lo que permitirá iluminar sólo al objeto que nos interesa y no al observador.
- Poder confinar la fuente luminosa en el exterior del ambiente expositivo (vitrinas) con un rendimiento superior a los otros sistemas de iluminación hasta hoy utilizados.
- Y por ultimo, la utilización de fuentes luminosas halógenas frías (dicroicas) que permite eliminar hasta 2/3 de la energía total irradiada, con esto se evitará no sólo la introducción de calor en el interior de vitrinas expositivas, sino también la eliminación del fenómeno de la deshumidificación localizada, que podría resultar dañina para algunos materiales que necesitan un equilibrio termohigrométrico perfectamente estable.

Guía de luz prismática: principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento de este sistema de iluminación está basado en el transporte de la energía luminosa a través de un material ópticamente estable (PMMA, polimetilmetacrilado) que presente el mayor índice de refracción posible a fin de poder utilizar el fenómeno de la reflexión interna total, obteniendo de esta forma unos ángulos de emisión elevados y una gran eficiencia luminosa.

La emisión de la luz se produce a través de unos microprismas dispuestos en sentido longitudinal en la parte opuesta a la superficie de emisión, con una extensión proporcional al ángulo fotométrico que se desea obtener. Estos microprismas están impresos a control numérico con ángulos controlados sobre la superficie contraria a la de reflexión. Basándose en el principio de realizar ángulos tales que la reflexión interna total (caso particular del fenómeno de la refracción) permita la emisión de una parte del flujo luminoso sobre un eje perpendicular a la guía misma.

Este principio permite adquirir una mayor eficiencia de la que se obtendría introduciendo una superficie difusora en el interior del recorrido óptico (guía prismática hueca). Al igual que produce un haz de luz controlable en el ángulo de abertura tanto en sentido longitudinal como en transversal.

La luz visible transmitida presenta la misma curva espetrofotométrica que aquella introducida, o sea no existe aberración cromática en cuanto que el medio utilizado está constituido por metacrilato colado que

tiene una curva de transmisión lineal en el campo visible, al igual que anula los componentes de ultravioleta y de infrarrojo.

La utilización de este sistema sobre superficies pictóricas, permite obtener una optima uniformidad de iluminación, eliminando las reflexiones superficiales de los pigmentos, obteniendo en virtud del delicado equilibrio de refracciones internas entre barniz y películas pictórica, un exaltación del contraste general y de consecuencia una mejor visión del conjunto de la obra.

La flexibilidad de construcción deriva del hecho de "diseñar" los prismas en función del objeto a iluminar. (Vease fotos N°8, 9 y 10) Ademas este sistema de iluminación tiene la posibilidad de curvar las guías, los cual aumenta su campo de empleo: acentuar arquitecturas, iluminar fuentes, ya que es posible sumergirlas en agua, o dado que es un sistema de transmisión independiente de la fuente de iluminación utilizada, permite captar, canalizar y distribuir luz solar, para utilizarla como fuente de iluminación en interiores.

Podemos afirmar, sin miedo a ser desmentido, que el compromiso entre el disfrute visual del público y los problemas conservativos es un hecho factible. No necesitaremos mas recurrir a una realidad virtual falsa y subjetiva para observar una obra de arte, cuando podemos tener la oportunidad de verla en la realidad, despreocupandonos de los problemas conservativos, ya que éstos estarán plenamente solucionados.

Conclusiones:

La conservación de un objeto, de una colección o de un monumento, es el objetivo más importante a tener en consideración, no sólo de los responsables encargados de su custodia y conservación, sino también por parte del público en general, no podemos olvidar que es deber de todos, cuidar, mantener y transmitir a las generaciones futuras el legado patrimonial que nos ha sido consignado.

En síntesis, los profesionales de la conservación están obligados a planificar y aplicar un programa de conservación y de restauración que proteja, con los medios técnicos y humanos adecuados, el bien cultural contra todo proceso de destrucción o de alteración. Lo que requiere un conocimiento profundo de los agentes de deterioro externos e internos y del comportamiento y reacción de la propia naturaleza de los objetos a las agresiones del entorno, para poder aplicar la metodología preventiva y curativa mas efectiva y respetuosa posible, sin perder de vista la realidad poniendo en practica el mas simple, pero al mismo tiempo el mas complejo de los sentidos, que es el sentido común.





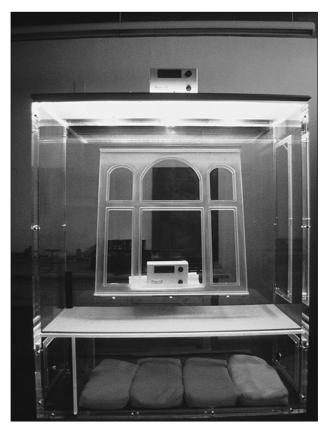


Foto 8: Vista frontal de la Vitrina del Tríptico del Gran Capitán (Esmalte de Limoges de los hermanos Penicaud siglo XVI), Museo de Bellas Artes de Granada. En esta vitrina la guía de luz a emisión prismática se ha utilizado como emisor de luz hacia el interior utilizando para ello el mismo plano que compone el techo de la vitrina.

Foto 9: Vista lateral de la vitrina del Tríptico del Gran Capitán.

Foto 10: Visión general de la vitrina sin la base. Se puede apreciar el sistema constructivo de la vitrina, y su sistema de iluminación.

Notas

I.- C.I.B.S. "Ligthing guide. Museums and Art Galleries". Publication n° 14 IES. 1980, p: 9-11

2. Este trabajo de investigación ha sido posible gracias a la colaboración de los técnicos del laboratorio del Física del Instituto Centrale del Restauro de Roma, Sr. D. Fabio Aramini y D. Carlo Cacace, al arquitecto del Proyecto museográfico de la Capilla Real de Granada, Sr. D. Pedro Salmerón Escobar, al conservador-res-

taurador del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico que suscribe el artículo y a la empresa de iluminación Desisti Lighting.

3. Se entiende por deslumbramiento primario al derivado de la propia fuente luminosa, mientras que por deslumbramiento secundario se entiende al producido por la reflexión de la fuente luminosa por parte del objeto iluminado.

Bibliografía

F. ARAMINI. *Iluminación y estudios colorimétricos aplicados a la exposición del bien cultural*". Extraído de Un proyecto para la Capilla Real de Granada. Serie Cuaderno nº 1, p: 77-80.

A.A.V.V. "Museum-Vitrines", N°146 Paris, 1985

M. BACCAREDDA BOY. Materie plastiche ed elastomeri. Quaderni di chimica applicata, a cura di E.Mariani. ED.Ambrosiana 1976. P. 156-167

M. C. BERDUCOU. La conservation en Archéologie. Ed. Masson.

J. CHAIMOWICZ. Ondas luminosas, introducción a la tecnología optoelectrónica". Ed.Paraninfo 1990 Madrid.E.

G. DE GUICHEN. Climat dans le Musée. ICCROM. 1984.

HECHT, A. ZAJAC. "Optica" Ed. Addison 1986

G. PAULILLI. "L' illuminazione ecologica". Media Production, nº 64. 1995, p: 16-21.

P. RADI. "Il sistema d' iluminazione a Guide di Luce". Luce, anno 32, n° 2, marzo/aprile. 19993, p: 68-72.

H. SAECHTLING. Manuale delle materie plastiche 3ª edizione. Tecniche Nuove, Milano 1986

N. STOLOW. Conservation and Exhibitions. Butterworths, 1987.

G. VANNUCCHI. Ottica integrata e microottica, vol $\,$ I $\,$ y $\,$ 2. Ed. Pátron. 1982.

VILLAVECCHIA-EIGERMANN. Nuovo dizionario di merceologia e chimica applicata. Milano, 1975, P: 2528-2529.

PADFIELD,T. AND LANDI S.,"Light-fastness of de natural dyes",SIC | 1 (1966) P:181-196

EGERTON,G.S. AND MORGAN,A.G., "The photochemestry of dyes",parts1 and 2.Soc. Dyers colour.(1970) P:79-83 and 242-249

LITTLE, A.H.,"Deterioration of textile materials",Delft Conference on the Conservation of Textiles,IIC (2nd Ed.1965)P: 67-68

VAN BEEK,H.C.A. AND HEERTJES, P.M. "Fading by ilght of organic dyes on textiles and other materials" SIC 11 (1966), P: 123-132

DEMENY, L. "Degradation of cotton yarns by light from fluorescent lamps", 1967 London Conference on Museum Climatology (ed.G.Thomson). IIC Revised Ed.(1968) P:53-64.

HARRIS, M. AND SMITH, A.L. "Photochemical reactions of wool", J.Res.Nat.Bur.Stand 20 (1938) P: 563-569

HARRIS, M. "Photochemical decomposition of silk", Am. Dyestuff Reptr. 23 (1934) P: 403-405.

PADFIELD, T. "Deterioration of cellulose, a literature review", Problems of conservation in museums. ICOM (1969), P:119-164.

ICOM, La lumière et la Protection des objets et Specimenes exposés dans les Musées et Galeries d'Art. L'Association Française de l'Eclairage (no date). Also in lux 63 (1971) P:235-264.

ICCROM, Catalogues of Technical Exhibitions, N°I-Lighting (1975).

BAGLIONI R. "Proyecto de sistema expositivo para la Bandera de las Navas de Tolosa, Vilches, Jaén".Informe interno del IAPH Enero 1997

BAGLIONI R. "Vitrina de conservación del esmalte denominado" Triptico del Gran Capitán" del Museo de Bellas Artes de Granada. Proyecto y realización". Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico N° 15,año IV.Junio 1996,P:75-82.

THOMSON G. "The Museum Environment" Second Edition (1986). Ed. Butterworth-Heinemann

RODRÍGUEZ LORITE M.A. "La luz en el Museo" Miscelanea Museologica. Servicio Editorial Universidad del Pais Vasco (1994) P: 229-242

HERRÁEZ J. A. Y RODRÍGUEZ LORITE M. A. "Manual para el uso de aparatos y toma de datos de las condiciones ambientales en museo" Ed. Ministerio de Cultura. Madrid (1989).

HERRÁEZ J. A. Y RODRÍGUEZ LORITE M.A. "Recomendaciones para el control de las condiciones ambientales en exposiciones temporales" Instituto de Conservación y restauración de Bienes Culturales. Ed. Ministerio de Cultura. Madrid (1991).