

# Iluminar obras de arte mejorando la conservación. Proyecto Zeus

*Anto J. Benítez, Daniel Vázquez Molini  
y Antonio Álvarez Fernández Balbuena*

*Universidad Carlos III de Madrid, España*

*Universidad Complutense de Madrid, España*

*Universidad Politécnica de Madrid, España*

*abenitez@hum.uc3m.es; dvazquez@ucm.es; antonioa@ucm.es*

## Resumen

La iluminación de obras de arte se enfrenta al reto de resultar adecuada para la exhibición y de minimizar en lo posible los daños a la superficie y los materiales que las componen. En esta encrucijada, en la que la investigación es imprescindible tanto en tecnología como acerca de la recepción por parte del público, el proyecto Zeus trata de obtener una precisa información sobre el color de la obra, y trasladarla a un modelo de iluminación individualizado punto a punto, que permite simular condiciones precisas y compensar efectos indeseables del deterioro, minimizando la luz absorbida por la obra.

**Palabras clave:** Óptica, tecnología del color, iluminación, conservación del patrimonio.

# Lighting Artworks Improving Conservation. The Zeus Project

## Abstract

Lighting artworks faces the challenge of being suitable for display and minimize the possible damage to the surface and the materials that compose them. At this crossroads, where research is essential in both technology and about the reception by the public, the Zeus Project is to get an accurate color information of the work, and obtain an individual model of lighting point to point, to simulate specific conditions and compensate undesirable effects of deterioration, minimizing the amount of light absorbed by the materials and surface.

**Keywords:** Optics, color, technology lighting, cultural heritage conservation.

## 1. INTRODUCCIÓN Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Cuando un iluminador se enfrenta a un encargo, sea cual sea su naturaleza, debe desarrollar una instalación –efímera o permanente– que obedezca a unos criterios técnicos y artísticos que guíen el resultado perceptivo en la creación del ambiente, y defina, al menos, los medios humanos y materiales y la disponibilidad presupuestaria y energética. En el caso del director de fotografía en el cine, la sublimación de su actividad hace pensar que los iluminadores *pintan con la luz*, lo que hunde las raíces de este oficio en la historia del arte (Ettegui, 1999: 8).

Las muy distintas facetas del iluminador conservan trazos en común, aunque en algunas áreas sean más exigentes en conocimiento y experimentación. En el cine, por ejemplo, el resultado de su trabajo se acerca a la consideración de obra de arte, aunque generalmente sirviendo a la idea de otro: “tanto la interpretación como la dirección de fotografía son dos artes interpretativas, en tanto que el trabajo del director y del guionista se acercan más a un acto de creación” (Loiseleux, 2005: 9). En el cine y las artes audiovisuales, el iluminador debe dominar, además de un conocimiento profundo sobre las luminarias y sus efectos en emulsión o sensores y de la técnica para utilizarlas convenientemente, una serie de recursos referenciales para poder establecer un diálogo productivo con el

director del filme, de forma que sea capaz de comprender el resultado perseguido y plasmarlo, y que el resultado llegue al público. Para ello el director de fotografía debe tomar decisiones acerca de, al menos, elegir, medir, colorear y dirigir la luz (Loiseleux, 2005).

Este preámbulo enlaza con el trabajo del iluminador de obras de arte y exposiciones. Su tarea, conceptualmente, es similar. Iluminar las obras de arte pertenecientes al patrimonio cultural de una comunidad es un considerable reto técnico. En el Libro Blanco de la Iluminación del Comité Español de la Iluminación, se habla de la iluminación expositiva como una “fuente de creatividad, innovación y experimentación como pocas veces se puede encontrar en el ámbito del Diseño de Iluminación” (CEI, 2011: 581). Como en la dirección de fotografía en cine se iluminan planos generales y primeros planos de forma distinta, en un museo el iluminador debe crear un ambiente propicio y, simultáneamente, trabajar sobre el detalle, pues la luz es el “medio básico de comunicación entre el visitante y los objetos” (Casal, 1984: 221), además de “condicionar el aspecto visual de estos, su jerarquía y atractivo en el entorno” (ibídem). Así, por ejemplo, un cuadro de Miró necesita percibir menos detalle que uno del Bosco (Casal, 1988: 21). También influyen factores como las características del entorno, la edad, la motivación y la fatiga de los visitantes, la época en la que se ha realizado la obra y la técnica del artista, o las distintas intervenciones en forma de conservación y restauraciones que se hayan llevado a cabo (ibídem).

La percepción humana deja un amplio margen a la subjetividad y, así, “las características de la iluminación bajo la que se ven los cuadros condiciona su percepción por el visitante; es decir, cómo discrimina detalles y contrastes de la pintura e, incluso, afecta a la estimación cualitativa que le conceda a la obra de arte” (Casal, 1988: 17).

Pero existe otra misión fundamental que tiene que observar el iluminador de obras de arte: la conservación de las mismas, lo que aumenta la complejidad de su trabajo. Cualquier iluminación puede dañar a los objetos de un museo -más abajo se ampliará esta cuestión-, de forma que la iluminación para este entorno debe cumplir los siguientes objetivos, a base de continua experimentación y sabiendo que siempre habrá que corregir de algún modo las decisiones iniciales: “eficiencia, sostenibilidad, eficacia, adecuación, etc., pero también poco daño” (CEI, 2011: 557).

Desde el punto de vista de la arquitectura de museos, José María Casal López-Valeiras trata en alguno de sus escritos el desarrollo de los conocimientos sobre el deterioro de las pinturas ocasionado por la energía radiada por fuentes lumínicas. Aunque tienen relevancia distintos informes desde el siglo XIX, identifica a Garry Thomson como el autor con mayor impacto práctico sobre la museología moderna, al “establecer, en 1961, las iluminancias máximas que podían alcanzarse sobre las piezas exhibidas” (Casal, 1988: 20).

El cuidado de las colecciones de arte incluye, desde luego, el control del medio en el que se almacenan y en el que se exhiben. Control de la iluminación, desde luego, pero también de la humedad relativa del aire, temperatura, ventilación, higiene, existencia de insectos o de plagas, microorganismos, polvo, polución química, acción humana como robo, vandalismo, incendios, vibraciones, etc., así como la variación de las condiciones de exhibición y custodia (Casal, 1984; Ward, 1990).

### 2.1. Sobre el daño a las obras de arte

Cualquier iluminación puede dañar una obra de arte. Las luminarias pueden emitir radiación visible, infrarroja y ultravioleta –estas dos últimas, como se sabe, invisibles–, y los tres tipos pueden “perjudicar y de hecho lo hacen el estado de conservación de las piezas que se muestran en una exposición” (CEI, 2011: 557). El daño que causa la luz sucede por dos procesos: la acción fotoquímica y el efecto calorífico radiante (Cuttle, 1996; CEI, 2011). La acción fotoquímica es un proceso a nivel de estructura química, que tiene lugar cuando una molécula absorbe la energía de la luz, que se conceptualiza como la que transporta un fotón. El o los fotones emitidos por la fuente radiante interactúan con las moléculas de los objetos expuestos, y si llevan suficiente energía, se producen daños químicos irreversibles (Ciaflone y Mello, 2015: 178). Aquí es de suma importancia apuntar que se ha especificado *fuentes radiante* y no *fuentes luminosa*, o lo que es lo mismo, que es preciso diferenciar entre *irradiación* e *iluminancia*, pues la radiación invisible también provoca el efecto fotoquímico. De hecho, existe evidencia de que los rayos ultravioleta son los más dañinos, pues a menor longitud de onda de la radiación, mayor energía. Por lo tanto, la discriminación espectral en la radiación es fundamental para conocer el alcance de los daños sobre los materiales y las superficies de las obras de arte. Se volverá más adelante sobre este punto.

El investigador Christopher Cuttle (1996) ofrece un resumen sobre las evidencias que distintos autores han ido agregando al conocimiento sobre el efecto dañino de la acción fotoquímica en las obras de arte. En primer lugar, no existe un nivel seguro de exposición a la radiación. Hay que asumir que la exposición a la luz producirá un efecto dañino inevitablemente. Habrá que trabajar, entonces, en minimizar este punto. La acción fotoquímica puede combinarse con otros factores ambientales. La medida del daño que puede producir la acción fotoquímica está determinada por dos factores: la medida de la exposición al agente irradiante y la *responsividad*, que expresa la sensibilidad de un material a los cambios producidos por la radiación. A su vez, dimensionar la exposición depende de tres factores: la *irradiancia* -la cantidad de radiación que llega a un material por unidad de superficie-, el tiempo de exposición y la distribución energético-espectral de la radiación incidente. Tanto la irradiancia como el tiempo de exposición se relacionan como un principio que todo fotógrafo conoce (aplicado a la radiación luminosa): la ley de reciprocidad o ley de Bunsen-Roscoe (Cuttle, 1988: 46). En este principio se enuncia que el efecto fotoquímico es directamente proporcional a la iluminancia -la cantidad de luz que incide por unidad de superficie- y al tiempo de exposición, de manera que uno y otro factor se compensan. Insistiendo en los factores deteriorantes, comoquiera que el daño para la obra de arte lo produce la absorción de fotones -o de energía- por parte de los materiales que la componen, y que aquellos pueden provenir de fuentes de radiación no luminosas, es preciso hablar siempre de irradiación y no de iluminancia.

Prosiguiendo con el resumen de Cuttle, otra evidencia de la mayor importancia es que la relativa responsividad de un objeto al flujo energético depende principalmente de la distribución espectral de su capacidad de absorción de energía (Cuttle, 1996).

Con respecto al efecto del calor, no puede evitarse que una luz sobre un objeto cause un aumento de temperatura de su superficie sobre la ambiental. A pesar de ello, otros autores le restan importancia a este hecho, pues asumen que, en circunstancias normales de iluminancia, ese aumento de temperatura será mínimo -de entre 1° y 1,5°, y que es más importante controlar los cambios de temperatura que se refieran al medio aéreo y al confort de los visitantes que los que tengan que ver con la iluminación (Casal, 1984: 223).

Concretando respecto a los dos procesos que la iluminación pone en marcha y que pueden dañar la obra de arte, la acción fotoquímica,

pues depende de la energía, la aumenta principalmente las radiaciones de longitud de onda corta y, por lo tanto, los rayos ultravioleta (UV) -sobre todo- y la gama de los azules y el efecto calórico radiante lo aumentan los rayos infrarrojos (IR). Garry Thomson establecía que, cuanto más deteriorado está un material por la radiación, menos efecto le hace la luz visible y más los UV (1961: 50).

La radiación es, pues, dañina siempre para la obra de arte. ¿En qué términos? De forma acumulativa e irreversible (Ciaflone y Mello, 2015: 177). ¿Cómo se manifiesta? Con distintos deterioros como pérdida de saturación, modificación de los tonos primitivos; decoloración y amarilleo de aceites, barnices y revestimientos; variación del color propio de distintos soportes como maderas, textiles, papeles; debilitamiento o destrucción de materiales estructurales... (Casal, 1984: 223). "Ello explica, en muy diversos cuadros, la palidez de los rostros, el sorprendente color pardo de ciertas campiñas, la oscura apariencia de algunas obras. Consecuentemente, los cuadros que el visitante ve en los museos pueden ser muy distintos de los que pintó el artista" (Casal, 1988: 19).

Más específicamente, en muchos museos y colecciones se mide la degradación en términos de pérdida de color, de forma que puede asumirse que, materializando el concepto, el cambio de color es directamente proporcional a la pérdida del pigmento colorante (Cuttle, 1996: 4). Además, se ha demostrado que los colorantes más sensibles (o responsivos) se degradan rápidamente al principio de la acción fotoquímica y tienden a ser más estables en cuanto a variación del daño en posteriores exposiciones (ibídem). Está dicho que para que un fotón induzca la acción fotoquímica debe ser absorbida por el objeto. La distribución de la reflectancia espectral de un objeto determina su apariencia cromática y, al contrario, la curva de distribución de su absorbancia espectral indica su sensibilidad espectral. Hay que tener la precaución de pensar que cada superficie coloreada puede estar compuesta de distintos colorantes en un vehículo amalgamante, cada uno de los cuales tiene distinta responsividad espectral (Cuttle, 1996: 6).

Los efectos de la radiación térmica son endurecimiento, decoloración y agrietamiento de superficies (CEI, 2011), en combinación también con la humedad y otros agentes como microorganismos.

## 2.2. Daño y Conservación

Así pues, son cuatro los principales factores de la iluminación que dañan una obra de arte: irradiación –o “aplicación de radiación óptica a un material o al medio que lo rodea” (CEI, 571)–, sensibilidad de los materiales a la exposición a la luz; distribución espectral de la energía radiante; y tiempo de exposición (CEI, 2011: 571-573).

En este punto, a la hora de establecer una estrategia para minimizar –ya que el daño es inevitable, como se ha visto– el efecto de la iluminación de obras de arte se encuentra otro rango de problemas, específicamente humano: la diversidad de intereses o, de otro modo, la convivencia inevitable de los criterios de exposición al público y de conservación, pues los conservadores intentan bajas iluminaciones y los exhibidores lo contrario (Casal, 1988: 22). Por otro lado, el nivel de iluminación será distinto para el restaurador, que necesita una alta capacidad para distinguir el detalle, que para los visitantes (Thomson, 1961: 49). Referido a la iluminación en los museos, Thomson decía que la buena considera el equilibrio entre buena conservación, buen gusto y buena ingeniería, por este orden. De hecho, afirma a continuación que solo después de darse cuenta de las necesidades de conservación es cuando se puede plantear la iluminación adecuadamente (Thomson, 1961: 49). Philip Ward da como solución administrativa, una vez se admite la certeza de lo que puede pasar si no se toman medidas, una especie de *troika*, compuesta por el conservador, por el restaurador y por una tercera parte que integre a diseñador de exposiciones, investigador y educador (Ward, 1990: 15). Y es que, “por definición, los museos cumplen cuatro funciones básicas: coleccionar, conservar, investigar y presentar e interpretar sus colecciones” (Ward, 1990: 1), donde la conservación es la principal pues las demás, en su ausencia, son imposibles.

La estrategia menos invasiva para la conservación consiste en diseñar y practicar una conservación preventiva dinámica, tratando de adelantarse a los agentes deteriorantes y minimizarlos. En el otro lado, el “propósito de la restauración es reparar daños que ya se han producido” (Ward, 1990: 20). Los tratamientos de restauración son acumulativos y seguirán siendo necesarios en un futuro. Como la alternativa si no se actúa es la pérdida del objeto mismo, se asume la relativa “pérdida de originalidad” que supone la actuación restauradora, lógicamente invasiva, con la condición de “documentar en detalle el tratamiento de conservación, con el fin de facilitar la tarea de quienes estudien el objeto en el futuro” (ibídem).

Ward indica que, con una estrategia adecuada, es posible retardar considerablemente el deterioro, aunque no lo sea “detenerlo por completo (...). La metodología de la conservación preventiva es indirecta: el deterioro se reduce por medio del control de sus causas” (Ward, 1990: 14).

Un primer paso para un adecuado control del medio lo constituyen las mediciones. La conservación preventiva debe medir el efecto fotoquímico durante muchos años, y evitar en lo posible que la medida se complique con otros factores (Cuttle, 1996: 2). Los conservadores necesitan datos de gran calidad (Padfield, Borchersen y Nationalmuseek, 2007: 54). Hoy es posible instalar detectores y monitorizar continuamente medidas relativas a los cuatro factores que se han enumerado más arriba. La documentación así conseguida resulta de gran utilidad para la planificación de las estrategias de conservación, y para los estudios futuros. La parte menos lograda, que afecta principalmente a la investigación, es la de los test acelerados. Evidentemente, estas pruebas de degradación simulan el, pero no sustituyen al, lento proceso del deterioro, y su fiabilidad está en permanente cuestión (Casal, 1988: 21; Cuttle, 1988, 47).

### **2.3. Recomendaciones asumidas por los museos**

Las estrategias de conservación devinieron en recomendaciones, ya que ninguna norma ni código se ha impuesto todavía para esta doble faceta de iluminar adecuadamente y conservar las obras de arte (CEI, 2011: 573). Un buen número de investigadores han trabajado sobre la cronología de estas, derivadas de los avances en el conocimiento del tema y en la tecnología aplicable (entre ellos Thomson, 1961; Casal, 1984 y 1988; Cuttle, 1988 y 1996; Michalski, 1990; Scuello, Abramov, Gordon y Weintraub, 2004a y 2004b; Druzik y Eshoj, 2007; Padfield y otros, 2007; Berns, 2011; CEI, 2011; etc.). Thomson estableció el estándar que después ha servido de eje para las posteriores comprobaciones y modificaciones. Para una distinta sensibilidad a los efectos de la radiación luminosa -primero, después se ampliaría a los rangos invisibles de la radiación óptica- se agruparon los objetos en: insensibles (piedras, metales); un gran grupo con la mayor parte de los objetos de museo, incluyendo óleos y témperas; y objetos especialmente sensibles (acuarelas, textiles, tapices, etc.). Para cada uno de ellos se estableció una intensidad lumínica como límite de referencia. No estaba recomendado pasar, consecutivamente, de 300 lux, 150 lux y 50 lux. Además se recomendaba el uso de unas determinadas luminarias y sus temperaturas de color



para la exhibición: luz día o fluorescentes entre 4200 y 6500 °K para el primer grupo; lo mismo, pero limitado a 4200 °K para el segundo y lámparas de filamento de tungsteno para el último (Thomson, 1961: 52). A esta conclusión se había llegado siguiendo el ‘efecto de Kruithof’ (divulgado primero por unas curvas que se publicaron en 1941), que explica que, para una temperatura de color dada, existe un rango de iluminancia para el que el efecto de la iluminación es considerado ‘placentero’ (Cuttle, 1988: 44; Scuello y otros, 2004b: 121). Quedaba claro que había que recortar o filtrar, en todo caso, los rayos UV y que la capacidad de adaptación del ojo humano, en el sentido de la percepción del color, jugaba un papel todavía indeterminado. A día de hoy, las recomendaciones de la CIE (*Commission Internationale de l’Eclairage*) modifican algo, pero aun rondan las primitivas: eliminar cualquier radiación óptica inferior a 400 nm (UV en el límite de los azules), mantener la iluminancia para el tercer grupo por debajo de 50 lux y, para el segundo, por debajo de 200 (Berns, 2011: 1). El mismo Thomson corrigió al alza, en publicaciones posteriores, su primera tabla (Casal, 1988: 24), pero ya había lanzado, a partir de informes previos de otros autores, la idea de que había que pensar de un modo global y acumulativo, en función del principio de reciprocidad de la acción fotoquímica -mencionado más arriba-.

Muchos investigadores y profesionales opinan que la exhibición de las obras de arte no merece la pena si el público no puede apreciarlos adecuadamente y, en muchos casos, este objetivo no puede lograrse con niveles de iluminación bajos. El paradigma del cálculo del deterioro en horas anuales, de forma que puedan aumentarse algo los niveles porque existe la compensación del tiempo en que las obras no están a la vista, ha soslayado en parte esta cuestión. El daño es acumulativo, por lo que también habría que sumar la cifra, por ejemplo, del alumbrado mínimo de seguridad o de almacenaje. En las recomendaciones actuales se incluye eliminar los efectos de la radiación térmica (habitualmente los IR), revisar los controles y procedimientos para la duración de la iluminación y sus encendidos y apagados, medir y registrar la irradiación y calcular el tiempo de exposición anual (CEI, 2011: 572-574). Padfield y otros afirman que evaluar el riesgo y reflexionar sobre la exhibición de las obras de arte hace que pueda entenderse alguna violación de las recomendaciones, para determinada necesidad racional y siempre en un marco de monitorización adecuada y manteniendo la documentación para asegurar que el control a largo plazo se mantiene (2007: 53).

## 2.4. El problema del color

Además de los problemas que podrían causar a los mayores, a los que tuviesen la vista fatigada o a aquellos visitantes que se distrajesen con facilidad, iluminar a 50 lux o menos, a bajas temperaturas de color –siempre según el efecto Kruithof–, hace que el efecto que puede apreciarse sea un “baño de luz naranja-amarillenta que causa que los rosas y los amarillos sean indistinguibles para el papel blanco, mientras que los verdes y los marrones se realzan y los azules se oscurecen” (Cuttle, 1996: 45, trad. de los autores). Lo peor es que no se aprecia la blancura del papel, y este es el recurso que utilizan, por ejemplo, los acuarelistas para especular con la luminosidad en sus creaciones (ibidem), además de que se modifica el blanco de referencia para la adaptación del sentido visual del observador.

Cristopher Cuttle habla de unas condiciones ideales para iluminar un museo: que los visitantes adapten su vista a bajos niveles de brillo; que el entorno visual no distraiga o haga competencia a las obras; que la iluminación sea lo suficientemente satisfactoria para dejar apreciar la forma, color, textura y detalle del objeto; que no exista flujo no visible de radiación sobre los objetos; que la duración de la exposición sea la mínima necesaria; y que, fuera de las horas de visita, la iluminación sea la mínima necesaria para la seguridad (Cuttle, 1996: 8-9).

Con respecto a la temperatura de color, Scuello y otros destacan que, en sus estudios, los iluminantes mejor considerados por el público fueron los de 3600°K, que destacan como una suerte de iluminante *neutral* a efectos de color (Scuello y otros, 2004a: 307), y que eran pasables los de luz día entre 550 y 6500°K. Para estos mismos investigadores, esta preferencia era difícil de entender, pues no se trata de la temperatura de color de la luz del día, no corresponde necesariamente a condiciones que reproduzcan las originales de la creación de las obras y no encaja con un estado general de adaptación del sistema visual. Además, tampoco es el iluminante con mejores desempeños para representar el color (Scuello y otros, 2004b: 121). Algunos autores se muestran, en todo caso, favorables al parcial sacrificio de la fidelidad del color en aras de la seguridad fotoquímica (Tuzikas y otros, 2014: 16805).

Pero, ¿existe una luz *natural* para la contemplación de obras de arte, además de que pueda aplicársele este calificativo a la luz *diurna*? Siguiendo con la comparación iniciada al comienzo de estas líneas, en la

tradición cinematográfica “el término luz natural no solo quiere decir ‘ausencia de sentido añadido’, sino que contiene en sí una suerte de aproximación a la verdad del mundo tal y como es” (Loiseleux, 2005: 29).

La percepción del color es un problema abordado, además de por los relacionados con el mundo del arte o con la óptica, por neurofisiólogos y psicólogos, lo que da idea de su complejidad. No solo entra en juego el color físico, que se puede determinar por el “producto de la composición espectral de la luz y la reflectancia o transmitancia, también espectral, del objeto” (Casal, 1984: 229), sino por la dirección de la luz, su naturaleza difusa o directa, o el rendimiento de color de las lámparas que iluminan. Además, cuentan la respuesta del individuo, su capacidad de adaptación cromática, su capacidad para discriminar colores—la cual, dicho sea de paso, es inversamente proporcional al nivel de iluminación ambiental (Salinas y de la Viuda, 2015)—, o el contraste con el entorno. Tratar con el color es, sin duda, un objetivo complejo, que debe comenzar, para poder ser abordado, con mediciones exhaustivas. Padfield y otros destacan el concepto de “desempeño visual” (*visual performance*; 2007: 54), y hablan de ‘calidad visual’, término que incluiría la discriminación cromática, la sensibilidad al contraste y la posibilidad de apreciar los pequeños detalles para todo el que acuda a un museo. De hecho, rehúyen del establecimiento de más recomendaciones, argumentando que “el sistema visual humano ha evolucionado para acomodarse y adaptarse a un rango amplio de condiciones de iluminación” (Padfield y otros, 2007: 55), y que hay que encontrar un modelo común más que encumbrar nuevos requerimientos para las claves de iluminación (ibídem).

Para dar otra idea de la complejidad de la percepción del color, hay evidencia de que la adaptación cromática es distinta en la visión periférica que en la visión directa. De hecho, el efecto del espectro en la gama mesópica (cuando están activos conos y bastones simultáneamente), es dependiente tanto de la naturaleza del espectro de la fuente de luz como del nivel de la luminancia de adaptación (Van Bommel, 2009). En otras palabras, el sistema visual humano no tiene una respuesta lineal: la respuesta a los estímulos de la visión central difiere de la periférica, y el sistema, como una unidad, se adapta a la iluminación ambiental (Scuello y otros, 2004b: 122). Cambiar los iluminantes cambiará, necesariamente, la respuesta del sistema visual (ibídem) y tendrá, por lo tanto, un efecto sobre la sensación de autenticidad y de fidelidad que se produzca tras contemplar la obra de arte.

Según la edad, también se modifica la respuesta. El cristalino se va amarilleando –igual que los barnices de las pinturas– con la edad. Una de las consecuencias es la pérdida de la visión de los colores azul y verde, de forma que la luz blanco-azulada es menos efectiva que la blanco-cálida para la avanzada edad, pues pasa peor por el cristalino amarillento (Van Bommel, 2009: 4). En este punto es oportuno indicar que Lafontaine (1986) describía un sistema de iluminación que permitía corregir el amarilleo de los barnices, sin tocar el cuadro.

Por otro lado, el índice de rendimiento de color (CRI en su acepción anglosajona) indica la medida de correspondencia entre el color real de la superficie de un objeto y su apariencia frente a una fuente de luz (Ciaflone y Mello, 2015: 192), con lo que se establecería la idoneidad de una luminaria específica para iluminar una obra de arte. En todo caso, Paidfield y otros critican que el método que establece la CIE para averiguar el CRI de una luminaria es demasiado limitado, al referirse solo a ocho colores test (2007: 4).

## 2.5. La luminaria idónea

¿Hay una luminaria idónea para la iluminación de obras de arte? Esta cuestión ha sido muy considerada y no existe acuerdo global al respecto –según la dinámica de marcas y fabricantes–. Por un lado, son destacables algunas ventajas de la iluminación incandescente, pues se trata de luminarias fáciles de dirigir y de controlar por atenuadores (Berns, 2011: 1). También responden a las exigencias que se apuntaban más arriba en cuanto a temperatura de color. De hecho, son las más utilizadas en la mayoría de museos. También tienen desventajas, como su mayor tiempo de emisión, pues emite continuamente y, además, contiene habitualmente bandas de radiación no visible.

Las luminarias fluorescentes, aunque con algunas cualidades como durabilidad y eficiencia, tienen en su contra normalmente que producen iluminaciones *poco naturales*. La tendencia actual es trabajar con luminarias LED, sobre las que varios autores han mostrado su viabilidad (González-Montes y otros, 2011) o, incluso, su idoneidad para iluminar arte (Berns, 2011: 2). Entre otras ventajas, permiten un diseño específico, y las lámparas de tres bandas (RGB) pueden simular espectros continuos como los de los filamentos de tungsteno. Además, la geometría del haz puede ser controlada (Berns, 2011: 9). Se pueden diseñar lámparas

con esta tecnología que incrementen o disminuyan la emisión de cada banda de color según las necesidades de exposición (ibídem).

En realidad, el centro de la cuestión podría consistir en diseñar un iluminante que fuera capaz de proyectar luz sobre la obra de arte de tal manera que discriminase el espectro que absorberían los materiales de su superficie. La radiación que emita la luminaria tendría la máxima eficiencia a efectos de la sensación percibida de color y, sin embargo, minimizaría la absorción fotónica con lo que, a su vez, se minimizaría el daño.

### **3. EL PROYECTO ZEUS: ESTRATEGIA, MÉTODO Y RESULTADOS**

En esta encrucijada para encontrar soluciones válidas a la dicotomía entre exhibición y conservación, el proyecto Zeus integra a instituciones implicadas en la conservación y difusión del patrimonio cultural (Instituto del Patrimonio Cultural Español, Centro Nacional de Arte Museo Reina Sofía, Universidad Complutense de Madrid) y a investigadores en Comunicación y Tecnología Audiovisual (Universidad Carlos III). El Equipo de Iluminación y Color del Grupo Complutense de Óptica Aplicada de la Escuela de Óptica de la Universidad Complutense de Madrid ha desarrollado el conocimiento y los procesos técnicos necesarios para conseguir estas metas. Han trabajado en importantes obras como son El Pórtico de la Gloria de la Catedral de Santiago de Compostela, la Sala de Polícromos de la Cueva de Altamira o el Guernica de Pablo Picasso. Las herramientas que están en desarrollo por el proyecto pretenden responder simultáneamente, como se ha dicho, a las necesidades de la funcionalidad y de la optimización de las condiciones de conservación.

La estrategia para abordar el problema apuesta por la creación de un iluminante inteligente singularizable para cada obra, de forma que pueda minimizar el espectro absorbido sin modificar negativamente la percepción de los visitantes. Efectivamente, puede esperarse que la modificación del espectro de la luz incidente para igualar el espectro de reflectancia del objeto reduzca la acción fotoquímica (Cuttle, 1996: 1).

Cuttle explica la experiencia de Miller, fabricante de iluminación por fibra óptica, que ha estudiado que, para determinados objetos, el uso de sistemas de fibra óptica hace posible separar cada parte del objeto con luz equiparada a su espectro de reflectancia (Cuttle, 1996: 6), proponiéndolo como una solución para la iluminación de museos.

Recientemente Durmus y Davis sostienen que se podría detectar con sensores los colores de los objetos y que se pueden iluminar objetos coloreados con fuentes de espectro restringido con la finalidad de minimizar la absorción y de ahorrar energía, de forma que no haya impacto negativo en la percepción del color (2015: 457 y 464). Este aserto valida la idea original del proyecto Zeus. Advierten que una escena compleja iluminada solo con iluminantes restringidos en el espectro podría tener el efecto negativo de desorientar al observador, el cual necesitaría un punto blanco de adaptación. Proponen como procedimiento corrector proporcionar uno a base de iluminar los objetos acromáticos de la sala con luz blanca, que establecería el iluminante de referencia (Durmus y Davis, 2015: 457).

Otros investigadores han trabajado en funciones de daño, como Cuttle (1988, 50). El proyecto Zeus ha desarrollado su propia función de daño espectral, que tiene como antecedente anteriores investigaciones del Grupo Complutense de Óptica Aplicada (Zoido y otros, 2010), que integra en un funcional los factores, ya conocidos, como la distribución de la irradiancia del iluminante, el tiempo de exposición y el factor de daño relativo, dependiente a su vez del material que se ilumina, con magnitudes más *humanas*, por ejemplo, el contraste de color y, especialmente, con otras que permiten incluir en la fórmula la definición de los criterios de diseño (qué magnitudes deben ser maximizadas y cuáles minimizadas) y el establecimiento de jerarquías entre estas magnitudes (*ibidem*). De esta forma, el iluminante óptimo puede dimensionar y añadir en el cálculo la participación de los conservadores, restauradores y exhibidores, cubriendo la necesidad de comunicación y de interacción (Torres y otros, 2012) entre los distintos estamentos gestores del patrimonio.

La mayoría de los iluminantes emiten fuentes de luz de muy diferentes longitudes de onda, pero algunas propiedades ópticas de los objetos, como la reflectancia, la transmitancia y la *absorbancia* dependen de la luz incidente. El color percibido de un objeto, que constituye una importante dimensión de la calidad de la luz y que es la clave de la aceptación del usuario, depende de la distribución espectral de energía de la fuente de iluminación y de la luz reflejada por la superficie del objeto (Durmus y Davis, 2015: 456).

Como se ha estado viendo más arriba, para diseñar iluminantes adecuados a estos retos es imprescindible conocer la reflectancia espectral (*ibidem*) y el proyecto ha desarrollado un algoritmo de cálculo y op-

timización de la distribución espectral de los iluminantes empleados. Cuttle cita a Sanders y Kirby, quienes explican que (aparte de los rayos UV), para cada objeto coloreado corresponde una función de responsividad relativo-espectral (Cuttle, 1996: 6). Por lo tanto, el proceso del proyecto comienza con la recogida de datos a partir de un sistema de medida con imágenes multispectrales. “La adquisición de imágenes multispectrales es una técnica que consiste en trabajar con imágenes de varias longitudes de onda de la misma muestra de la obra pictórica” (Torres y otros, 2012: 203).

Este diagnóstico, propiciado por el desarrollo propio en el proyecto de un sistema de medida de la reflectancia espectral de alta precisión espacial/espectral (Figura 1), singular para cada obra, permite conocer con certeza la paleta de colores utilizada por los artistas y dar información a los conservadores acerca de los distintos repintes y barnizados o, en general, las modificaciones a partir de la obra original.



**Figura 1. Sistema *Spectrarobscan*, de la UCM, trabajando en la sala de policromos de la Cueva de Altamira, en Cantabria (España)**

Fuente: Fotografía de los autores.



Una vez se ha recolectado información precisa y de gran calidad sobre la obra, se calcula y diseña una iluminación, sobre un iluminante de referencia, que puede ser modulada por los profesionales de los museos en función de sus criterios específicos, de forma que podrían establecerse distintas simulaciones de exposición. Después de este cálculo podrá proyectarse sobre cada punto de la superficie de la obra elegida una cantidad de luz restringida a las longitudes de onda que interactuarán efectivamente para su contemplación, sustrayendo por lo tanto aquellas que se absorben por los pigmentos o materiales de las obras, minimizando la absorción de energía y el riesgo de efecto fotoquímico. En otras palabras, se trata de integrar un sistema de iluminación espectralmente selectivo que tiene en cuenta las características de la obra para calcular la distribución de luz punto a punto.

Por ejemplo, podría elegirse proyectar una iluminación que potenciase la paleta de colores original, otra que respetase las condiciones de pintura de la obra (siempre que estuviesen adecuadamente documentadas), otra que corrigiese el deterioro que el tiempo hubiese acumulado sobre barnices y pigmentos... La idea de la recreación de simulaciones para trabajar en distintas etapas de la conservación no es nueva, ni mucho menos: "A veces se realizan copias para experimentar nuevos métodos de restauración" (Ward, 1990: 56).

A la hora de la proyección de la *escena* o simulación escogida sobre la obra, intervienen también factores –como se ha ido viendo– como el rendimiento del proyector o las condiciones de luz de la sala. El proyecto ha estado desarrollando, asimismo, un sistema de calibración precisa de proyectores de imagen. El control sobre las mediciones de referencia antes y después de la creación de la iluminación conserva muchos parecidos con el trabajo del director de fotografía. En palabras de Michael Chapman, hablando sobre Boris Kaufman: "observándolo en el plató te dabas cuenta de que aquel hombre estaba literalmente 'pintando con luz'; lo único que podías hacer era reverenciarlo..." (Ettedgui, 1999: 8).

#### 4. CONCLUSIONES

Conseguir un sistema que minimice los daños causados por la iluminación habitual es una necesidad urgente e inaplazable. En realidad, el reto de iluminar obras de arte o del patrimonio tiene muchos puntos en común con el trabajo de los directores de fotografía y los coloristas en el campo audiovisual. En un enfoque multidisciplinar, a lo largo de estas líneas se ha



procedido a una descripción pormenorizada de distintos aspectos de la controversia iluminar-conservar, acercando de manera comprensible el estado del asunto también al área de los estudios de comunicación.

Admitiendo las evidencias de que la energía absorbida por los materiales de la obra de arte produce cambios fotoquímicos y alteraciones térmicas y de que la percepción cromática sigue leyes de distribución espectral combinada, se pueden conseguir iluminantes que mejoren enormemente las condiciones de conservación de las obras, minimizando las necesidades de intervención de tratamientos irreversibles de restauración. Las técnicas multispectrales para la caracterización espectral de las obras punto a punto son viables y se sabe que las tecnologías de proyección, las fuentes de luz basadas en fuentes de estado sólido y los conocimientos en procesado digital de imágenes, permiten la obtención de sistemas de altas prestaciones. Por lo tanto, todo este conocimiento es posible aplicarlo para la reducción del daño, incluso para el producido por la luz a la que ha sido anteriormente expuesta el conjunto de la obra o cada punto de la misma.

Este es el planteamiento del proyecto Zeus, que ha conseguido los siguientes resultados:

- a. El desarrollo de una función de daño espectral en función del tiempo y de la radiación.
- b. El desarrollo de un algoritmo de cálculo y optimización de la distribución espectral de los iluminantes empleados.
- c. El desarrollo de un sistema de medida de la reflectancia espectral de alta precisión espacial y espectral.
- d. El desarrollo de un sistema de calibración preciso para proyectores de imagen.
- e. La integración de un sistema de iluminación espectralmente selectivo que tiene en cuenta las características de la obra para calcular la distribución de luz punto a punto.

Por último un sistema como el propuesto podría enfocarse para su utilización permanente, de manera que el objetivo del mismo se pueda centrar, no solo en distintas simulaciones de iluminación, sino en el establecimiento de un compromiso de iluminación cuyo principal objetivo fuese la minimización del daño.

### **Agradecimientos**

Este trabajo ha sido desarrollado bajo el apoyo del proyecto de investigación HAR 2012-31929, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España.

### **Acknowledgements**

This work has been supported by HAR 2012-31929 research project of Science and Innovation Ministry of Spain.

### **Referencias Bibliográficas**

- BERNS, R. S. 2011. Designing White-Light LED Lighting for the Display of Art: A Feasibility Study. **Color Research & Application** 36(5): 324-334.
- CASAL, J.M. 1984. Iluminación de Museos I. **Anabad** 34(2-4): 211-238.
- CASAL, J.M. 1988. Pinacotecas: Iluminación y Conservación de Los Cuadros. **Informes de La Construcción** 40(395): 17-46.
- CEI. 2011. **Libro Blanco de La Iluminación**, vol.4 - aplicaciones de alumbrado interior. Editorial MIC (España).
- CIAFLONE CASSARES, N., y MELLO MOREIRA PETRELA, Y. L. 2015. Influência Da Radiação de Luz Sobre Acervos Museológicos. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/anaismp/v8-9n1/06.pdf>. Consultado el 02.07.2015.
- CUTTLE, C. 1988. Lighting Works of Art for Exhibition and Conservation. **Lighting Research and Technology** 20(2): 43-53.
- CUTTLE, C. 1996. Damage to Museum Objects due to Light Exposure. **Lighting Research and Technology** 28(1): 1-9.
- DURMUS, D., y DAVIS, W. 2015. Optimising Light Source Spectrum for Object Reflectance. **Optics Express** 23(11): A456-A464.
- DRUZIK, J., y ESHOJ, B. 2007. **Museum lighting: its past and future development**. **Museum Microclimates**. Copenhagen: National Museum of Denmark, 51-56.
- ETTEDGUI, P. 1999. **Directores de Fotografía**. Océano. Barcelona (España).
- GONZÁLEZ-MONTES, M., VÁZQUEZ-MOLINÍ, D., ÁLVAREZ, A., GARCÍA-BOTELLA, A., y BERNABÉU-MARTÍNEZ, E. 2011. "Optics detailed analysis of an improved collimation system for LED light sources" en **SPIE Optical Systems Design**. pp. 81700F-81700F. International Society for Optics and Photonics.
- LAFONTAINE, R. H. 1986. Seeing through a Yellow Varnish: A Compensating Illumination System. **Studies in Conservation** 31(3): 97-102.

- LOISELEUX, J. 2005. **La Luz En El Cine**. Los Pequeños Cuadernos de “Cahiers Du Cinema”. Paidós: Barcelona (España).
- MICHALSKI, S. 1990. “Towards specific lighting guidelines” en **preprints ICOM Committee for Conservation**. pp. 583-588. Dresden, antigua República Democrática Alemana. Disponible en <http://www.stefanmichalski.info/Downloads/Articles/Michalski%201990%20Towards%20specific%20lighting%20guidelines.pdf>. Consultado el 22.07.2015.
- PADFIELD, T., BORCHERSEN, K., y NATIONALMUSEET, eds. 2007. Museum Microclimates. [...]: **Contributions to the Copenhagen Conference**: 19-23. National Museum of Denmark: Copenhagen (Dinamarca).
- SALINAS, J., y de la VIUDA, D. 2015. Percepción del Color Aplicado al Patrimonio Cultural. Trabajo de Fin de Grado, inédito, presentado en la Universidad Complutense de Madrid.
- SCUELLO, M., ABRAMOV, I., GORDON, J. y WEINTRAUB, S. 2004a. Museum Lighting: Why Are Some Illuminants Preferred? **JOSA A** 21(2): 306-31.
- SCUELLO, M., ABRAMOV, I., GORDON, J., y WEINTRAUB, S. 2004b. Museum Lighting: Optimizing the Illuminant. **Color Research & Application** 29(2): 121-127.
- TORRES, J., VÁZQUEZ, D., ANTELO, T., MENÉNDEZ, J. M., POSSE, A., ÁLVAREZ, A., ..., del EGIDO, M. 2012. Adquisición y formación de imágenes multiespectrales de obras pictóricas. **Óptica Pura y Aplicada** 45(2), 201-207.
- THOMSON, G. 1961. A New Look at Colour Rendering, Level of Illumination, and Protection from Ultraviolet Radiation in Museum Lighting. **Studies in Conservation** 6(2/3): 49-70.
- TUZIKAS, A., ŽUKAUSKAS, A., VAICEKAUSKAS, R., PETRULIS, A., VITTA, P., y SHUR, M. 2014. Artwork visualization using a solid-state lighting engine with controlled photochemical safety. **Optics Express**, 22(14): 16802-18.
- VAN BOMMEL, W. 2009. El espectro de las fuentes de luz y bajos niveles de iluminación: fundamentos. Disponible en [http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/05/07\\_03\\_van-Bommel\\_Assaff1.pdf](http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/05/07_03_van-Bommel_Assaff1.pdf). Consultado 12.08.2015.
- WARD, P. 1990. *La Conservación Del Patrimonio: Carrera Contra Reloj*. Getty Publications.
- ZOIDO, J., VÁZQUEZ, D., ÁLVAREZ, A., HERRÁEZ, J. A., del EGIDO, M. y ONTAÑÓN, R. 2010. Optimización de fuentes de luz para la iluminación del Patrimonio Artístico. Aplicación a las pinturas rupestres de la Cueva de El Castillo. En **IX CONGRESO NACIONAL DEL COLOR** (pp. 38-41). Alicante.