

Título del trabajo/ Title of paper

Algunos efectos de los prototipos de luz LED recomendados por la CIE sobre la apariencia visual de piezas de museos.

Autor/es/ Author/s

Miguel Ángel Martínez-Domingo<sup>1</sup>, Francisco José Collado-Montero<sup>2</sup>, Daniel Vázquez<sup>3</sup>, Satoko Taguchi<sup>4</sup>, Katsunori Okajima<sup>5</sup>, Shino Okuda<sup>6</sup>, Manuel Melgosa<sup>1</sup>.

Empresa/s Company/s

<sup>1</sup>Departamento de Óptica, Universidad de Granada, Granada. (España).  
<sup>2</sup>Departamento de Pintura, Universidad de Granada, Granada (España).  
<sup>3</sup>Departamento de Óptica, Facultad de Óptica y Optometría, Universidad Complutense de Madrid (España).  
<sup>4</sup>Tokyo University of the Arts, Tokyo (Japón).  
<sup>5</sup>Yokohama National University, Yokohama (Japón).  
<sup>6</sup>Doshisha Women's College of Liberal Arts, Kyoto (Japón).

Dirección principal/ Main address

Manuel Melgosa Latorre. Departamento de Óptica, Facultad de Ciencias, Edificio Mecenas, Despacho 107. Universidad de Granada, 18071 Granada

Teléfono, fax, e-mail de la persona de contacto/

Phone, fax number and e-mail address of the contact person

Prof. Manuel Melgosa Latorre. Tel: 958 246364. Fax: 958 243302.  
Email: [mmelgosa@ugr.es](mailto:mmelgosa@ugr.es)

Tema: 1. Científico y formación en aspectos generales de la iluminación: visión, color, fotometría, luminotecnia.....

Con el fin de mantener un misma identidad gráfica en el soporte digital, CD Rom o memoria USB, que se va a editar con motivo del Simposium Nacional de Alumbrado, les rogamos mantengan los márgenes de página, así como los estilos y tamaños de letra que ya vienen preestablecidos en esta plantilla. Así mismo, los datos, la clasificación y el contenido tienen que mantenerse acorde con el abstract aprobado.

Una vez tengan el proyecto finalizado, nos lo deberán enviar por correo electrónico a la dirección [cei.secretaria@ceisp.com](mailto:cei.secretaria@ceisp.com)

Please, write your papers in word format in the attached pattern.

We beg you to follow the format of the papers established in this pattern related to margins, type and size of letters, in order to make a CD Rom or pen drive edition without differences among the papers edited. Likewise, the data, classification and content must be kept in line with the approved abstract.

Once you have written your paper please send it by e-mail to:

[cei.secretaria@ceisp.com](mailto:cei.secretaria@ceisp.com)

## Introducción.

Conseguir la iluminación óptima de una pieza de museo es un problema cuya resolución no sigue actualmente un procedimiento fijo. Sin duda, para resolver este problema es útil conocer las características técnicas de las fuentes de luz candidatas a ser usadas (e.g. temperatura de color correlacionada e índice de rendimiento de color), pero, además, es necesario tener en cuenta otros criterios de tipo económico, estético, museístico, etc. A fin de cuentas, podríamos decir que la iluminación óptima es aquella que consigue la máxima satisfacción del visitante, evitando daños relevantes en la pieza exhibida a corto y largo plazo [1]. Dependiendo del contenido y material de la pieza (e.g. pintura, papel, tejido, etc.), según sea la procedencia cultural del visitante de un museo, probablemente casi siempre hay más de una solución aceptable para aproximarnos a la iluminación óptima. Dentro de las investigaciones realizadas en este campo [2-5], en este trabajo, nos centraremos en la distribución espectral de fuentes de luz LED y en la reflectancia espectral de la pieza iluminada, como características técnicas que pueden ayudar a predecir la apariencia visual de una pieza de museo y optimizar su iluminación.

## Metodología.

Concretamente, estudiamos la inconstancia de color producida por cada uno de los 9 prototipos de luz LED recientemente recomendados por la CIE [6], en comparación con los 2 principales iluminantes de la CIE (D65 y A), para tres piezas de museo: Una yesería y zócalo de alicatado nazarí (S. XII-XV) expuesto en el Museo de la Alhambra [7] y dos grabados de escenas japonesas (Ukiyo-e) del artista Toyohara Kunichika (S. XIX) [8]. La Figura 1 muestra las distribuciones espectrales de cada uno de los iluminantes usados, y la Tabla 1 indica las temperaturas de color correlacionadas (CCTs) e índices de rendimiento de color de los 9 iluminantes LED [6]. Los iluminantes D65 y A tienen CCTs de 6500 K y 2856 K, respectivamente.

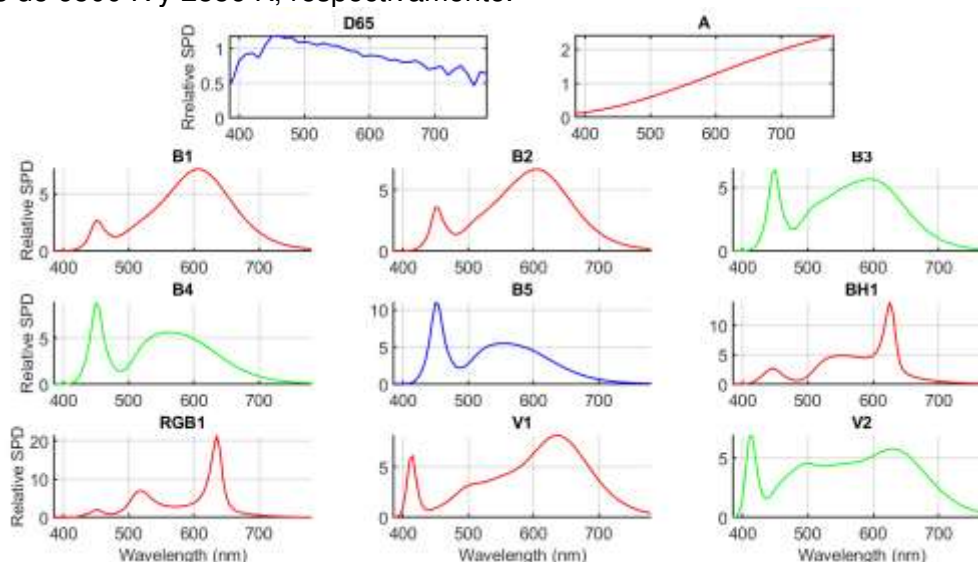


Figura 1. Distribuciones de potencia espectral relativa de los 2 iluminantes principales de la CIE (D65 y A) y de los 9 iluminantes LED recientemente propuestos por la CIE [6].

Tabla 1. CCTs e índices de rendimiento de color de los 9 iluminantes LED de la CIE [6].

	B1	B2	B3	B4	B5	BH1	RGB1	V1	V2
CCT (K)	2733	2998	4103	5109	6598	2851	2840	2724	4070
$R_a$	82	83	85	77	80	92	57	95	96
$R_f$	84	84	85	77	79	85	71	87	94

Cronológicamente, en primer lugar empleamos un escáner hiperespectral (Resonon Pika L, sensor de 900 pixels) para capturar la imagen de una parte (40 cm x 60 cm) de una yesería y zócalo nazarí, expuesto de forma permanente en el museo de la Alhambra de Granada. La pieza se iluminó simétricamente con 2 paneles LED (Cromalite Nanguan CN-600CSA) y 2 lámparas halógenas, y la captura (1160 líneas) duró un tiempo total de unos 32 s. Dicha captura permitió obtener una imagen de la pieza en la que, tras corregir la falta de uniformidad de la iluminación, podemos conocer la reflectancia espectral en cada pixel [7]. Más adelante, empleamos con la misma finalidad un espectrorradiómetro 2D (UA-5000, Topcon Co. Ltd.), midiéndose dos grabados de escenas japonesas (Ukiyo-e) del S. XIX (33.5 x 23.5 cm y 35.5 x 24.0 cm). En este último caso, partiendo de las reflectancias espectrales medidas, se obtuvieron imágenes bajo cada uno de los iluminantes indicados (1378 x 1024 pixels), con 3 niveles de iluminancia distintos (50 lx, 200 lx, 500 lx). Dichas imágenes fueron mostradas en orden aleatorio a un panel de 20 observadores españoles (10 hombres y 10 mujeres), no familiarizados con este tipo de obras de arte japonesas, usando un monitor calibrado (LCD Color Monitor, Hewlett Packard 2510i). La finalidad de estos experimentos visuales es explorar las emociones y preferencias en cuanto a la iluminación de estas piezas [8]. Mediante el modelo CAT16 [9] hemos calculado los llamados ‘colores correspondientes’ para iluminante D65, y la inconstancia de color en unidades CIEDE2000 para cada iluminante LED.

### Resultados.

La Figura 2 muestra la apariencia de la yesería y zócalo nazarí bajo los iluminantes de referencia (D65 y A) y bajo los 9 iluminantes LED de la CIE (Figura 1 y Tabla 1) [6].

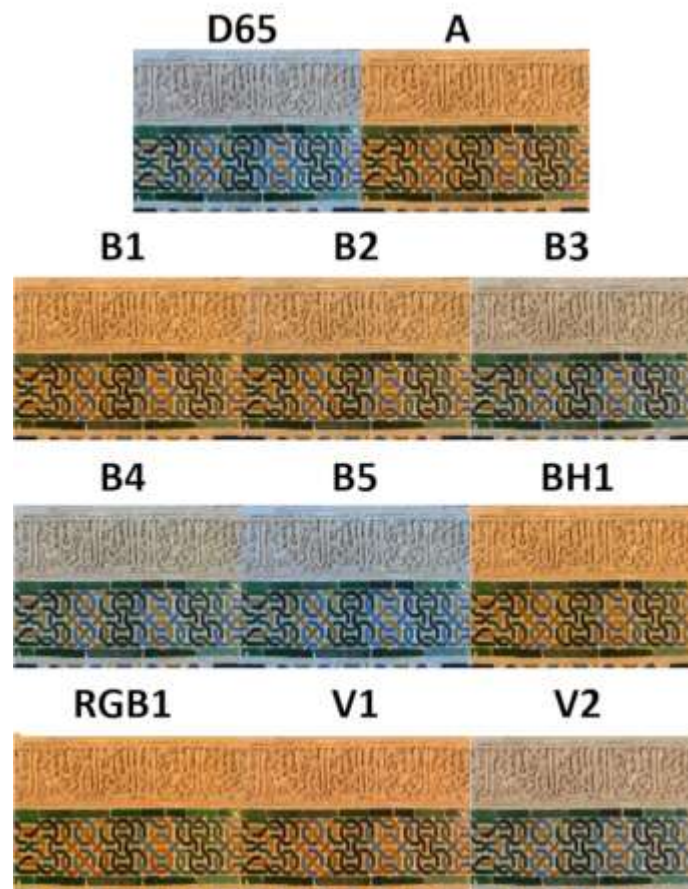


Figura 2. Simulación de las imágenes de la yesería y zócalo nazarí bajo los iluminantes D65 y A y cada uno de los 9 iluminantes LED propuestos por la CIE [6].

La Figura 3 se refiere también a la yisería y zócalo nazarí, mostrando las diferencias de color medias (unidades CIEDE2000, pixel a pixel) entre la pieza iluminada con el iluminante A (o D65) y cada uno de los 9 iluminantes LED (parte superior). Por su parte, la parte inferior de la Figura 3 es una pseudo-coloración que permite visualizar las diferencias de color (unidades CIEDE2000) en cada zona de la pieza, cuando se ilumina con el mejor (V1) y el peor (B5) iluminante LED, respecto al color obtenido con el iluminante A. Las Figuras 2 y 3 son ejemplos de herramientas objetivas, que pueden ser útiles para decidir cuál es la iluminación óptima de una pieza de museo.

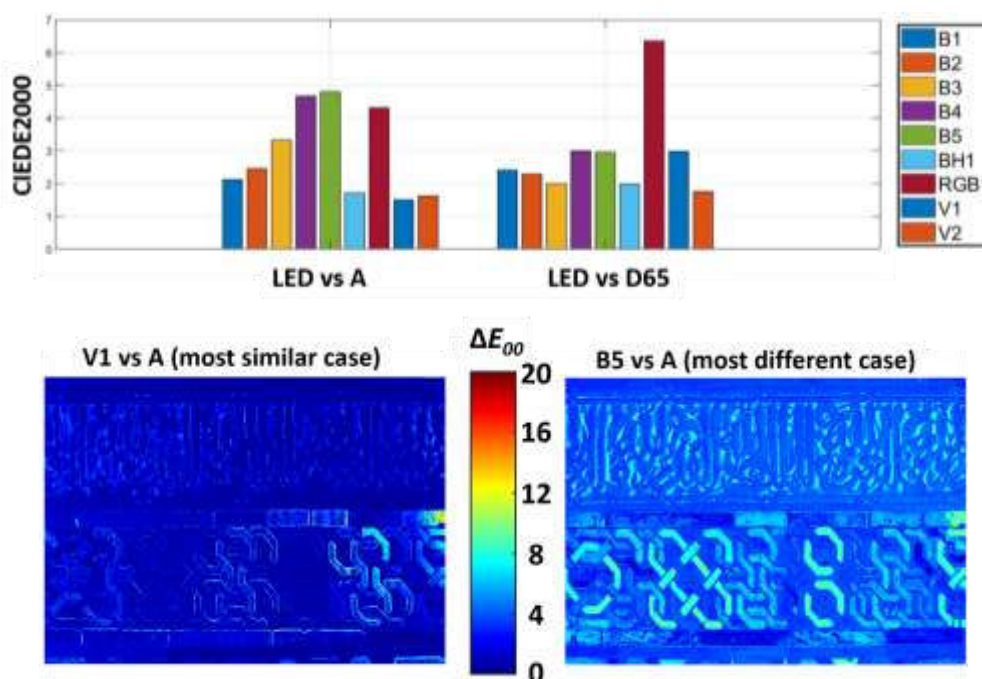


Figura 3. Diferencias de color promedio (unidades CIEDE2000) entre cada LED y los iluminantes A (o D65) para la yisería y zócalo nazarí (arriba). Pseudocoloración con la mejor y peor reproducción de esta pieza, respecto a su color bajo iluminante A (abajo).

La Figura 4 nos permite apreciar las distintas apariencias de los dos Ukiyo-e estudiados con los iluminantes LED denominados V1, B3 y B5, que tienen CCTs baja, intermedia y alta, respectivamente (ver Tabla 1 y Figura 1), bajo la máxima iluminancia utilizada (500 lx). Aunque es evidente la influencia de la CCT en la apariencia de las imágenes mostradas en la Figura 4, no hay que olvidar que, para CCTs muy similares, las diferencias en las distribuciones espectrales de los iluminantes también generan diferencias de color que son visualmente apreciables.

Hasta ahora nos hemos referido a aspectos objetivos de la iluminación de piezas de museo. En la Figura 5 abordamos el complejo tema de la iluminación preferida por los observadores (en este caso 20 sujetos españoles), en una escala que oscila entre 1 (no gusta nada) y 10 (gusta mucho). En la Figura 5 los iluminantes usados están indicados en el eje x en orden creciente de CCT. Un resultado claro es que, para ambos Ukiyo-e, la preferencia de los observadores crece con la iluminancia. De hecho, hay diferencias estadísticamente significativas entre todos los niveles de iluminancia para ambos Ukiyo-e. En el caso del Ukiyo-e\_b (fila de abajo de la Figura 4) observamos que, para las 2 iluminancias más altas, al aumentar la CCT mejora la preferencia del observador, pero este resultado no es tan claro en el caso del Ukiyo-e-a (fila superior de la Figura 4) [8]. Esto indica que el contenido de la pieza influye en la preferencia de iluminación.



Figura 4. Imágenes (500 lx) de los dos Ukiyo-e bajo los iluminantes LED V1 (izquierda), B3 (centro) y B5 (derecha), con CCTs de 2724 K, 4103 K y 6598 K, respectivamente (Tabla 1).

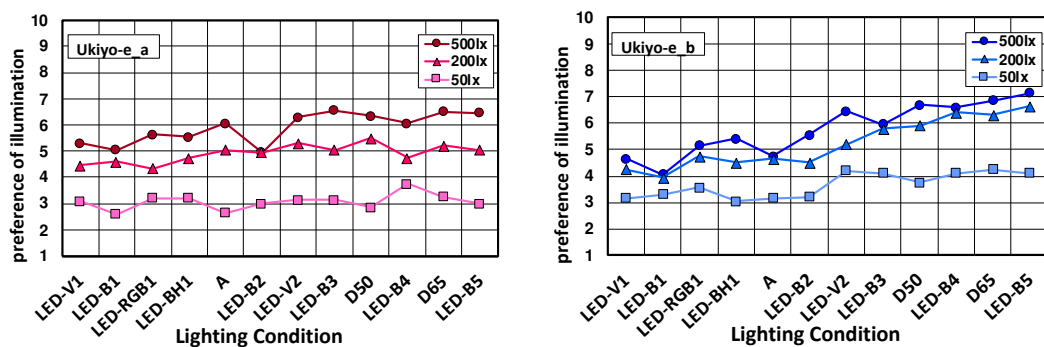


Figura 5. Preferencias de iluminación para 20 sujetos españoles (1 no gusta nada, 10 gusta mucho) del Ukiyo-e\_a (fila de arriba en Fig. 4) y Ukiyo-e\_b (fila de abajo en Fig. 4), bajo distintos iluminantes CIE (eje x, en orden creciente de CCT), para iluminancias de 50, 200 y 500 lx [8].

### Conclusiones.

Se han mostrado algunas técnicas que permiten observar y predecir las variaciones de apariencia de tres piezas de museo (una yesería y zócalo nazarí y dos Ukiyo-e) con la iluminación de las mismas (iluminantes D65, A y 9 iluminantes LED de la CIE [6]). Estas técnicas pueden ser útiles para decidir 'a priori' la iluminación óptima de piezas de museo. También aportamos algunos resultados sobre la iluminación preferida para los Ukiyo-e por un panel de 20 observadores españoles.

Agradecimientos. Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España, proyecto PID2019-107816GB-I00, PID2019-107816GB-I00/SRA/10.13039/501100011033, así como por la Japan Society for the Promotion of Science (JSPS), KAKENHI Grant Number 18KK0282.

### Referencias.

1. CIE 157:2004. Control of damage to museum objects by optical radiation. CIE Central Bureau, Vienna, 2004.
2. F. Viénot, M-L. Durand, E. Mahler. Kruithof's rule revisited using LED illumination. *Journal of Modern Optics* 56, 1433-1446 (2009).
3. J.M.M. Linhares, P.D.A. Pinto, S.M.C. Nascimento. Color rendering of art paintings under CIE illuminants for normal and color deficient observers. *Journal of the Optical Society of America A* 26, 1668-1677 (2009).
4. H-W. Luo, C-J. Chou, H-S Chen, M.R. Luo. Museum lighting with LEDs: Evaluation of lighting damage to contemporary photographic materials. *Lighting Res. Technol.* 51, 417-431 (2019).
5. F. Feltrin, F. Leccese, P. Hanselaer, K.A.G. Smet. Impact of illumination correlated color temperature, background lightness, and painting color content on color appearance and appreciation of paintings. *Leukos* 16, 25-44 (2020).
6. CIE 015:2018. Colorimetry, 4<sup>th</sup> Edition. CIE Central Bureau, Vienna, 2018.
7. M.A. Martínez-Domingo, M. Melgosa, K. Okajima, V.J. Medina, F.J. Collado-Montero. Spectral Image Processing for Museum Lighting Using CIE LED Illuminants. *Sensors* 19, 5400 (2019).
8. S. Okuda, S. Taguchi, K. Okajima, L. Gómez-Robledo, M. Melgosa. Effect of lighting on visual appearance of Japanese woodblock print painting (Ukiyo-e) for Spanish observers. *Proc. AIC Interim Meeting Natural Colours-Digital Colours 2020*, p. 352-355. [https://aic2020.org/wp-content/uploads/2021/03/AIC2020\\_PROCEEDINGS\\_20210318-final.pdf](https://aic2020.org/wp-content/uploads/2021/03/AIC2020_PROCEEDINGS_20210318-final.pdf) (acceso el 15 Junio 2021).
9. C. Li, Z. Li, Z. Wang, Y. Xu, M. R. Luo, G. Cui, M. Melgosa, M. H. Brill, M. Pointer. Comprehensive colour solutions: CAM16, CAT16, CAM16-UCS. *Color Res. Appl.* 42, 703-718 (2017).