



**XIII Congreso**

**Nacional del Color**

TERRASSA (BARCELONA) – ONLINE  
29-30 de JUNIO y 1 de JULIO de 2022

**Libro de Actas**



## **Editores**

Francisco Javier Burgos Fernández

Meritxell Vilaseca Ricart

© De los textos e imágenes, los autores, 2022.

ISBN 978-84-9880-624-3



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH**

## Comité Organizador

|                                   |             |
|-----------------------------------|-------------|
| Meritxell Vilaseca Ricart         | Presidenta  |
| Francisco Javier Burgos Fernández | Coordinador |
| Laura Rey Barroso                 | Vocal       |
| Jaume Pujol Ramo                  | Vocal       |
| Fernando Díaz Doutón              | Vocal       |
| Mikel Aldaba Arévalo              | Vocal       |
| Carlos Enrique García Guerra      | Vocal       |
| Joan Gispets Parcerisas           | Vocal       |
| Aurora Torrents Gómez             | Vocal       |
| Santiago Royo Royo                | Vocal       |
| Jaume Castellà Maymó              | Vocal       |
| Julia Sebastián García            | Vocal       |



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH**



**Centre de Desenvolupament de Sensors,  
Instrumentació i Sistemes**  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
Shaping light to your needs



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH**  
Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa

## Comité Científico

|                                     |                                         |
|-------------------------------------|-----------------------------------------|
| Olga M. Conde                       | Universidad de Cantabria                |
| J. Federico Echávarri Granado       | Universidad de La Rioja                 |
| Ángel Ignacio Negueruela Suberviola | Universidad de Zaragoza                 |
| Pedro José Pardo Fernández          | Universidad de Extremadura              |
| María Isabel Suero López            | Universidad de Extremadura              |
| Ruperto Bermejo Román               | Universidad de Jaén                     |
| M. Lourdes González-Miret Martín    | Universidad de Sevilla                  |
| Francisco José Heredia Mira         | Universidad de Sevilla                  |
| José Antonio García García          | Universidad de Granada                  |
| Luis Gómez Robledo                  | Universidad de Granada                  |
| Javier Hernández Andrés             | Universidad de Granada                  |
| Rafael Huertas Roa                  | Universidad de Granada                  |
| Luis Jiménez del Barco              | Universidad de Granada                  |
| Ana López Montes                    | Universidad de Granada                  |
| Manuel Melgosa                      | Universidad de Granada                  |
| Juan Luis Nieves Gómez              | Universidad de Granada                  |
| Javier Romero Mora                  | Universidad de Granada                  |
| Eva M. Valero Benito                | Universidad de Granada                  |
| Joaquín Campos Acosta               | Consejo Superior de Invest. Científicas |
| Alejandro Ferrero                   | Consejo Superior de Invest. Científicas |
| Humberto Moreira Villegas           | Universidad Complutense de Madrid       |
| Julio A. Lillo Jover                | Universidad Complutense de Madrid       |
| Juan Serra Lluch                    | Universidad Politécnica de Valencia     |
| Ana Torres Barchino                 | Universidad Politécnica de Valencia     |
| María José Luque Cobija             | Universitat de València                 |
| Esther Perales Romero               | Universidad de Alicante                 |
| Valentín Viqueira Pérez             | Universidad de Alicante                 |
| Dolores de Fez Saiz                 | Universidad de Alicante                 |
| Maria Vanrell                       | Universitat Autònoma de Barcelona       |
| María Sagrario Millán García        | Universitat Politècnica de Catalunya    |
| Meritxell Vilaseca Ricart           | Universitat Politècnica de Catalunya    |
| Jaume Pujol Ramo                    | Universitat Politècnica de Catalunya    |
| Francisco Javier Burgos Fernández   | Universitat Politècnica de Catalunya    |

Con el apoyo de:



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH



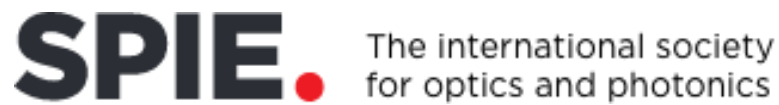
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa



Centre de Desenvolupament de Sensors,  
Instrumentació i Sistemes  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
Shaping light to your needs



Comité del Color



## **Bienvenida**

La ciencia del Color es hoy en día un componente transversal e integral de casi todos los sectores industriales. Ejemplos de ello son la industria automovilística, industria alimentaria, fabricación de pinturas, etc. En la actual era digital, la ciencia y tecnología del Color también tiene un papel muy relevante en todos los sectores que utilizan tecnologías multimedia, como son la tecnología de la imagen, fotografía, producción audiovisual e impresión. No solo eso, sino que la medida del color puede utilizarse, incluso, para mejorar el diagnóstico médico.

Los recientes avances provocados por la aparición de nuevas fuentes de luz y materiales, entre otros, hacen que la ciencia del Color sea fundamental, también, en el campo de la arquitectura y del arte.

Pero el Color hace referencia a alguna cosa más que algo simplemente físico. No olvidemos que son las personas quienes, a través de sus ojos, perciben los colores. Por lo tanto, la ciencia del Color engloba también el estudio de la percepción del color que se genera cuando un estímulo de luz llega a nuestros ojos, de los defectos de visión del color existentes entre la población, así como de su importancia en educación.

El Congreso Nacional del Color es un foro de primer nivel para el debate de todos estos aspectos. Esta edición se ha dividido en tres áreas temáticas: (1) color e industria, (2) color en arte y arquitectura y (3) percepción del color y educación, que han incluido charlas de conferenciantes invitados expertos en todos estos campos, así como numerosas comunicaciones de elevado interés científico. A todos los participantes, muchísimas gracias por aceptar ser parte de este congreso.

Desde el Comité Organizador damos las gracias al Ayuntamiento de Terrassa y a la Universitat Politècnica de Catalunya por la ayuda brindada y, en particular, a la Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa y al Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas por su apoyo constante. También a SEDOPTICA y SPIE, que han patrocinado el premio a la mejor comunicación del congreso. Y a todos los patrocinadores que han confiado una vez más en este evento.

Para el Comité Organizador ha sido un placer poder contribuir con todo nuestro entusiasmo en la organización de esta edición virtual del congreso y esperamos que lo hayáis disfrutado mucho.

**Meritxell Vilaseca Ricart**

Presidenta del Comité Organizador del XIII Congreso Nacional del Color

## COMUNICACIONES

### SESIONES PLENARIAS

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| “Color Science & Technology in Axalta”, Francisco M. Martínez-Verdú  | 12 |
| “El color en la arquitectura para el bienestar”, Ana Torres-Barchino | 13 |
| “Advances in Colour Vision Assessment”, Marisa Rodríguez-Carmona     | 14 |

### SESIÓN 1: COLOR E INDUSTRIA

|                                                                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| “Cuantificación de mácula patológica en retinopatía diabética mediante estadística de color”, Asmae Igalla El-Youssfi <i>et al.</i>                                                                | 16 |
| “Análisis colorimétrico de estructuras de fondo de ojo mediante retinografía multiespectral”, Francisco J. Burgos-Fernández <i>et al.</i>                                                          | 20 |
| “Evaluación de la Microscopía Confocal como Herramienta de Diagnóstico en Enfermedades de los Glóbulos Rojos”, Laura Rey Barroso <i>et al.</i>                                                     | 24 |
| “Color-based sensory tests for the evaluation of foods and beverages containing phycoerythrin extract as natural dye”, Raquel Carmona <i>et al.</i>                                                | 28 |
| “Control de calidad en nuez entera mediante análisis de imagen”, Julio Nogales-Bueno <i>et al.</i>                                                                                                 | 32 |
| “Número de colores relevantes que describen el contenido cromático de las escenas naturales”, Juan Ojeda <i>et al.</i>                                                                             | 36 |
| “Validación de un Test de daltonismo en 3D y Realidad Virtual”, Halina Cwierz López <i>et al.</i>                                                                                                  | 40 |
| “Determinación de quinina en tónicas mediante tratamiento de imagen”, Kevin U. Antela <i>et al.</i>                                                                                                | 44 |
| “Estudio de la interacción de 11S globulina de semilla de uva con compuestos fenólicos mediante colorimetría diferencial”, Francisco Chamizo González <i>et al.</i>                                | 48 |
| “Análisis de imagen digital para el estudio del efecto de tratamientos agronómicos en la apariencia de acelga baby ( <i>Beta vulgaris L. cicla</i> )”, Francisco J. Rodríguez-Pulido <i>et al.</i> | 52 |
| “Medidas del color de las banderas de las Comunidades y Ciudades Autónomas de España en dos altas instituciones del Estado”, Manuel Melgosa <i>et al.</i>                                          | 56 |

## SESIÓN 2: COLOR EN ARTE Y ARQUITECTURA

- “Aplicación de smartphone en el análisis colorimétrico de réplicas de pinturas rupestres”, Mirco Ramacciotti *et al.* 61
- “La historia del color como referente para nuevos diseños: un viaje en el tiempo”, Irene De La Torre Fornés *et al.* 65
- “Experiencias cromáticas en la docencia del Diseño 2020”, Ana Torres Barchino *et al.* 69
- “Educar la mirada. Dibujo y color del paisaje urbano en el cerramiento de obra de la restauración de la torre de San Bartolomé de Sevilla”, María Dolores Robador González *et al.* 73
- “Protección, conservación y difusión de arquitecturas pintadas. Retos tecnológicos e internacionalización aplicada en la ciudad de Málaga”, Lourdes Royo-Naranjo. 77
- “Celebrando 40 años del grupo de estudio “Environmental Colour Design” (1982–2022) de la Asociación Internacional del Color”, Verena M. Schindler. 81
- “Preferencias de arquitectos y diseñadores jóvenes respecto de las combinaciones de colores de Le Corbusier para espacios interiores”, Juan Serra *et al.* 85
- “El Color en la Arquitectura: un Medio para la Reducción del Estrés”, Pia López-Izquierdo *et al.* 89
- “Orientaciones cromáticas en centros residenciales de personas mayores para el bienestar”, Ana Torres-Barchino *et al.* 93

## SESIÓN 3: PERCEPCIÓN DEL COLOR Y EDUCACIÓN

- “Elección del tipo de papel e iluminación en impresión para tricrómatas anómalos moderados y severos”, Ana Belén López-Baldomero *et al.* 98
- “Validación de una escena de Realidad Virtual aplicando mejoras hiperespectrales en el escenario”, Francisco Díaz-Barrancas *et al.* 102
- “Utilización de filtros gaussianos para la predicción del efecto Bezold en muestras de color dispuestas sobre redes de Ronchi”, Ignacio Tortajada Montañana *et al.* 106
- “Metacognición sobre el uso de Categorías de Color Básicas en dicrómatas “Rojo-Verde” y comparación con su uso empírico”, Humberto Moreira Villegas *et al.* 110
- “Estudio de la variación del color por efecto del scattering en volumen en materiales translúcidos”, Pablo Santafé-Gabarda *et al.* 114

|                                                                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| “Influencia del tono de los pigmentos de absorción en la percepción de sparkle”, Esther Perales <i>et al.</i>                                                                       | 118 |
| “Análisis de la visión del color de fumadores y fumadores consumidores moderados de alcohol”, M <sup>a</sup> Amparo Díez-Ajenjo <i>et al.</i>                                       | 122 |
| “Prestaciones y limitaciones de Matlab para ilustrar fenómenos psicofísicos en laboratorios docentes: medida de umbrales cromáticos”, Dolores de Fez <i>et al.</i>                  | 126 |
| “Prestaciones y limitaciones de Matlab para ilustrar fenómenos psicofísicos en laboratorios docentes: medida de la relación cromaticidad-luminosidad”, Dolores de Fez <i>et al.</i> | 130 |



# SESIONES PLENARIAS



## Color Science & Technology in Axalta

Francisco Miguel Martínez Verdú

*Global Innovation Center, Axalta Coating Systems, 1050 Constitution Avenue*

*Philadelphia, PA 19112 (EUA)*

<http://www.axalta.com>

**Resumen:** Esta presentación se centra en una descripción superficial de la historia y actividades recientes en Ciencia y Tecnología del Color de la empresa multinacional Axalta, cuyas oficinas centrales y de investigación y desarrollo se encuentran en el área de Filadelfia (Estados Unidos). La primera parte de esta presentación describe los campos industriales que cubre la empresa, así como su red de centros de investigación y laboratorios para pinturas altamente funcionales de acuerdo a las necesidades de cada submercado. La segunda parte desarrolla parcialmente la relevancia de la Ciencia y Tecnología del Color para esta empresa, focalizándose primero en su contribución más relevante en el desarrollo y aceptación por la CIE del espacio de color CIELAB en 1976. Y tras esta fecha, las principales innovaciones de esta empresa se centraron en el diseño, desarrollo y comercialización de instrumentación óptica para pinturas gonioaparentes, sus principales conceptos (geometrías de medida, indicatriz, pico especular, etc.) y los retos actuales existentes en la modelización y gestión de la calidad visual de las pinturas gonioaparentes. En esta parte central de la presentación, se presentara también el enfoque multi-escala e inter-disciplinar que se aborda habitualmente para entender y dominar eficientemente la complejidad de los materiales goniaparentes, desde una dirección “bottom-up” (enfoque teórico), desde el rango nanoscópico hasta el rango macroscópico (perceptual), y viceversa (“top-down”), como enfoque empírico, necesario para mejorar los modelos que entrelazan variables estructurales de pigmentos de efecto y sus propiedades ópticas isotrópicas y anisotrópicas, las recetas de pinturas, sistemas de pintado, instrumentación óptica para color y textura visual, y la apariencia visual de estas pinturas goniocromáticas. Por último, como arranque del turno de preguntas, y dado que el presentador trabaja para esta empresa desde marzo 2019, tras un largo periodo como profesor universitario funcionario en España, se hará una comparación inicial entre los mundos universitarios e industriales de acuerdo con su experiencia reciente en Axalta.

## El color en la arquitectura para el bienestar

Ana Torres Barchino

*Dto. Expresión Gráfica Arquitectónica/ Escuela Técnica Superior de Arquitectura/*

*Universitat Politècnica de València*

<https://grupocolor.webs.upv.es>

**Resumen:** La existencia de centros residenciales en España, como arquitectura destinada al alojamiento de personas en situación de dependencia, son objeto de innumerables estudios. En estos últimos años, las agrupaciones sociales, las instituciones públicas y privadas o los estudios de arquitectura y diseño, abordan con especial interés: la planificación, diseño, proyección y construcción de entornos, adecuados para personas vulnerables, desde una nueva estrategia de integración social en las ciudades con criterios de diseño accesible. Las aplicaciones cromáticas reúnen una serie de condiciones, específicamente relacionadas con el espacio donde viven las personas, por lo que el análisis y estudio del color difieren según el contexto, y requiere un planteamiento adecuado, sensible a las actividades que se realizan, tanto en interiores como en exteriores. La arquitectura para el bienestar comprende ciertos modelos, definidos como asistenciales, donde se encuentran los hospitales, centros de salud y centros residenciales de atención integral, y en cuyos ambientes intenta ofrecer el máximo bienestar personal. La elección de una gama cromática, para una arquitectura destinada a la asistencia sanitaria, está vinculada a la iluminación, tamaño y forma de un espacio específico que se ajusta a las necesidades de este tipo de servicios, buscando las mejores condiciones posibles de habitabilidad. Desde la perspectiva del proyecto arquitectónico, el diseño y la aplicación del color no siempre está consensuado con los trabajadores y profesionales de la asistencia sanitaria y, su experta opinión, puede ofrecer una visión complementaria en la toma de decisiones para las diferentes soluciones cromáticas en este tipo de espacios. Por todo ello, es de interés en el estudio del color, y su aplicación en la arquitectura para el bienestar, que se lleve a cabo una metodología que permita conocer las características de estos modelos asistenciales y realizar un breve recorrido de su histórica evolución cromática. Así podremos poner en valor las diferentes propuestas realizadas hasta el momento actual.

# Advances in Colour Vision Assessment

Teresa A. Jägle, PhD

*Centre for Applied Vision Research, School of Health and Psychological Sciences, City, University of London, Northampton Square, London EC1V 0HB*

[https://www.city.ac.uk/research/centres/centres-for-applied-vision-research/](#)

**Resumen:** Colour can enhance visual conspicuity and conveys important information on the material properties of objects. Colour is also used to signal information and plays a major role in visual search. In addition, the colour attributes of images we see can enhance our perceptual experience. Not everyone has ‘normal’ colour vision. The inability to identify or see correctly colour signals may have negative consequences in occupational environments. Equally important, is the early detection of small changes in colour vision which can signal the early onset of disease. Conventional colour assessment tests do not always isolate colour signals and frequently the subjects can make use of other visual attributes and cues to pass as normal. This presentation will describe recent advances in colour assessment with emphasis on the Colour Assessment and diagnosis (CAD) test. The latter can be used to classify accurately an applicant’s class of colour vision and to quantify the severity of red/green (RG) and yellow/blue (YB) colour loss. The establishment of reliable, normal-age limits have transformed the effectiveness of colour assessment as a clinical tool in the detection and monitoring of diseases. Systemic diseases, such as diabetes and a range of other degenerative diseases of the photoreceptors, often manifest first through a reduction in YB and RG chromatic sensitivity. ‘Safe’ colour vision is often required as a condition for employment in many occupations, but the existing, conventional colour screening tests and protocols employed in many occupations often pass some applicants with severe colour deficiency and fail others who are less severe. The statistical outcomes of the most commonly used colour vision tests will be described. The results of the full CAD test in conjunction with detailed studies of minimum colour vision requirements in visually-demanding occupations make it possible to establish scales for colour deficiency, but the full test can take between 12-15 minutes to complete and requires the use of fully calibrated equipment. In order to enhance the efficiency of colour vision assessment, we have developed a new colour vision screener (CVS) test with close to 100% sensitivity and specificity. The screener takes less than 3 minutes to complete and is administered first to every applicant to identify those with either congenital or acquired colour deficiency. Only ~ 6% of applicants (assuming equal numbers of males and females and ~2% acquired loss) require to take the full CAD test. The use of the two-step protocol makes colour assessment more efficient by reducing significantly the number of applicants who require the full CAD test. Equally important, recent advances in colour assessment and also improved understanding of the factors that affect normal trichromacy and congenital and acquired colour deficiencies make the assessment of colour vision changes more reliable and the results fairer and more useful in both occupations and in the clinic.



SESIÓN 1:  
Color e Industria



# Cuantificación de mácula patológica en retinopatía diabética mediante estadística de color

Asmae Igalla El Youssfi<sup>1\*</sup>, José Manuel López Alonso<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dpto. Óptica, Facultad de Óptica y Optometría Univ. Complutense de Madrid, C/ Arcos de Jalón 118, 28037 Madrid, España.

<https://www.ucm.es/doptica>

**Resumen:** La retinopatía diabética en su afección macular suele cursar con cambios, tanto en la claridad como en el croma, de la imagen de la retina. A partir del estudio de imágenes de la retina con el espacio de color YCbCr se realiza un estudio estadístico del comportamiento macular en las retinas sanas para lograr calcular un estadístico basado en la distancia de Mahalanobis que cuantifica el grado de patología de zonas de la retina (mácula) aquejadas de retinopatía diabética.

## 1. Introducción

La Mácula o mácula lútea, es el área central de la retina (Fig. 1). Su nombre viene debido a su color oscuro en forma de una mancha amarillenta, y es la estructura del ojo que permite tener la visión central en color en alta resolución; y este tipo de visión se deteriora cuando la macula está dañada [1]. Los fotopigmentos que contiene permiten la absorción del contenido espectral en las longitudes de onda cortas (azul y ultravioleta) que llegan a la retina, funcionando como un filtro protector respecto de la luz más dañina [2]. Por lo tanto, el daño a la mácula provoca la pérdida de la visión central, que suele ser evidente de inmediato como ocurre por ejemplo en la degeneración macular que puede dar lugar a la creación de un agujero macular, o el caso del edema macular diabético (EMD) en la retinopatía diabética (RD) que a medida que avanza la patología, la pigmentación de la retina, y en concreto la macula, adquiere un color blanco grisáceo o nuboso, que en varias ocasiones conlleva a una ceguera irreversible [3-4]. Lo anterior suele manifestarse como cambios de claridad y croma. Para apreciar mejor estas diferencias parece pues lógico utilizar un banco de imágenes retinianas sanas y patológicas en RGB que convertimos al espacio de color YCbCr para analizar las maculas de las mismas, dado que este espacio de color diferencia claramente un canal de claridad (Y) de los de croma (Cb,Cr). Estudiando las distribuciones estadísticas de estos tres canales de color (YCbCr) en los píxeles de las retinas sanas es posible caracterizar puntos anómalos en las retinas patológicas. En el presente trabajo se aplica una técnica estadística basada en la distancia de Mahalanobis [5] aplicada a la clasificación de zonas anómalas en las retinas aquejadas de Retinopatía Diabética (RD).



**Figura 1:** La imagen de una retina con DR con las principales características de la retina y los cambios morfológicos que sufre por la patología. A) fóvea. B) Macula. C) Disco óptico. D) Vasos sanguíneos retinianos. E) Exudados duros. F) Microaneurismas. Recuadrada aparece la zona a analizar.

\* e-mail: asmaeiga@ucm.es

## 2. Material y método

Nuestro material de estudio consiste en una base de imágenes compuesta por 30 imágenes retinianas clasificadas en dos grupos: un grupo de 15 imágenes de retinas sanas y otro grupo de 15 imágenes de retinas con retinopatía diabética, procedentes de un banco de datos público [6]. Ambos grupos han sido capturados con el mismo retinógrafo utilizando una cámara midriática de fondo de ojo Canon CF-60 Uvi. Las imágenes tienen un tamaño de 3504 x 2336 píxeles y han sido capturadas con 24 bits por píxel (RGB). La captura es la estándar del retinógrafo sin tratamientos o calibraciones adicionales [6].

### 2.1 Preparación de las imágenes

Alrededor de la fovea (ver la Fig. 1)-se recorta una zona cuadrangular de 801x801 píxeles que representa la macula, y a estas imágenes recortadas de las maculas se les aplica un factor de remuestreo de 0.25 mediante la función de Matlab *imresize* quedando con un tamaño de 201 x 201 píxeles para agilizar y acelerar el cálculo de las distribuciones de color con la distancia Mahalanobis. Estas imágenes han sido capturadas en RGB, por lo tanto, nosotros convertimos las imágenes a otro espacio de color que separa la claridad de la croma para determinar cómo afecta la patología a la macula, es decir, que si la despigmentación y las anomalías que observamos en estas, están relacionadas con los canales de la croma o la claridad. Así pues, seleccionamos el espacio de color YCbCr. De este modo, tendremos imágenes con puntos codificados en el canal ‘Y’ de claridad y croma ‘Cb’, ‘Cr’.

### 2.2 Análisis y cálculo

Cada píxel (p) de la imagen ‘n’ se representa mediante un vector de punto que viene dado con la siguiente ecuación:

$$V_n(p) = [I_{c1}(p), I_{c2}(p), I_{c3}(p)], \quad (1)$$

Siendo C=1, 2, 3, los valores del píxel (p) en cada uno de los tres canales de la imagen YCbCr. Para un mismo píxel ‘p’ en varias imágenes, se calcula la matriz de covarianzas  $S(p)$ , del conjunto de vectores  $V_n(p)$ . En la diagonal de dicha matriz están las varianzas de los valores de los canales Y, Cb, Cr de los píxeles ‘p’ en las ‘n’ imágenes y fuera de la diagonal las covarianzas entre dichos valores. A partir de aquí ya podemos calcular la distancia Mahalanobis de un píxel ‘p’ de una imagen,  $D_n^2(p)$ , que se define como

$$D_n^2(p) = (V_n(p) - V(p))^T S^{-1}(p) (V_n(p) - V(p)), \quad (2)$$

En el cual se obtiene el  $V(p)$  como el vector medio de todas las imágenes de retinas sanas ‘n’, en el píxel ‘p’, y S la matriz de covarianzas del píxel entre los canales ‘YCbCr’. La Ec. (2) permite calcular la función de distribución de probabilidad del  $D_n^2(p)$  para cada imagen ‘n’ de retinas sanas. La distancia de Mahalanobis es una distancia estadística que mide la diferencia de un vector (en nuestro caso los valores YCbCr del píxel considerado), respecto del vector medio, en unidades de la varianza de los datos en la dirección considerada (en nuestro caso la del vector YCbCr respecto del valor medio). Como elemento caracterizador del conjunto de retinas sanas podemos tomar la media de las funciones de distribución de  $D_n^2(p)$ . Así pues, obtenemos una *pdf*( $D^2$ ) (función densidad de probabilidad para la distancia de Mahalanobis), de las retinas sanas con el cual calculamos la función de distribución acumulada *cdf*( $D^2$ ) de las mismas que permite establecer un valor límite que se necesita para caracterizar todos los anómalos de las máculas patológicas, de manera que un valor por encima 95% de probabilidad acumulada el punto se identifica como anómalo como se puede ver en la Fig. 2. Este nivel de significación es el normalmente usado en estadística general y empíricamente nos ha dado resultados adecuados.

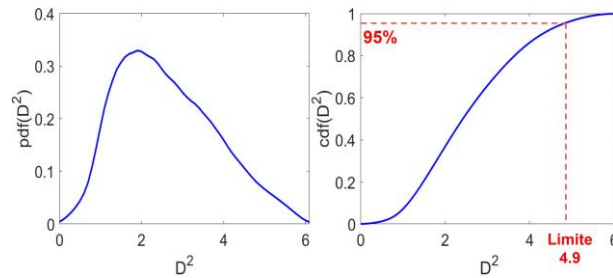


Figura 2: La  $pdf(D^2)$ (izq) media de las máculas y  $cdf(D^2)$ (dcha) con el valor limite de 4.9 para una probabilidad del 95%.

A partir de aquí, ya podemos calcular la distancia Mahalanobis de las maculas de las retinas patológicas basándose en la Ec. (3), que viene dada como:

$$D_{Anómalo}^2(p) = (V_{Anómalo}(p) - V(p))^T S^{-1}(p)(V_{Anómalo}(p) - V(p)), \tag{3}$$

Siendo el  $V_{Anómalo}(p)$  el vector de punto de la mácula patológica y  $D_{Anómalo}^2(p)$  la distancia Mahalanobis del píxel de la mácula patológica respecto al punto medio de las máculas sanas. De este modo, pues las distancias  $D_{Anómalo}^2(p)$ , por encima el valor limite obtenido en las máculas sanas nos marcaría puntos anómalos en la mácula patológica analizada.

### 3. Resultados

El procedimiento anterior se aplicó sobre nuestra base de imágenes retinianas sanas y patológicas clasificadas en RD con distintos grados de afectación. En primer lugar, se representan las distribuciones de probabilidad de la  $D_{Anómalo}^2$  de 3 maculas de 3 retinas afectadas por la retinopatía diabética de distinto grado (ver la primera fila de la Fig. 3) frente a la distribución media de probabilidad  $D^2$  de las máculas de las retinas sanas para determinar en qué zonas aproximadamente se defiere la macula patológica de las sanas como se puede ver en la segunda fila de la Fig. 3.

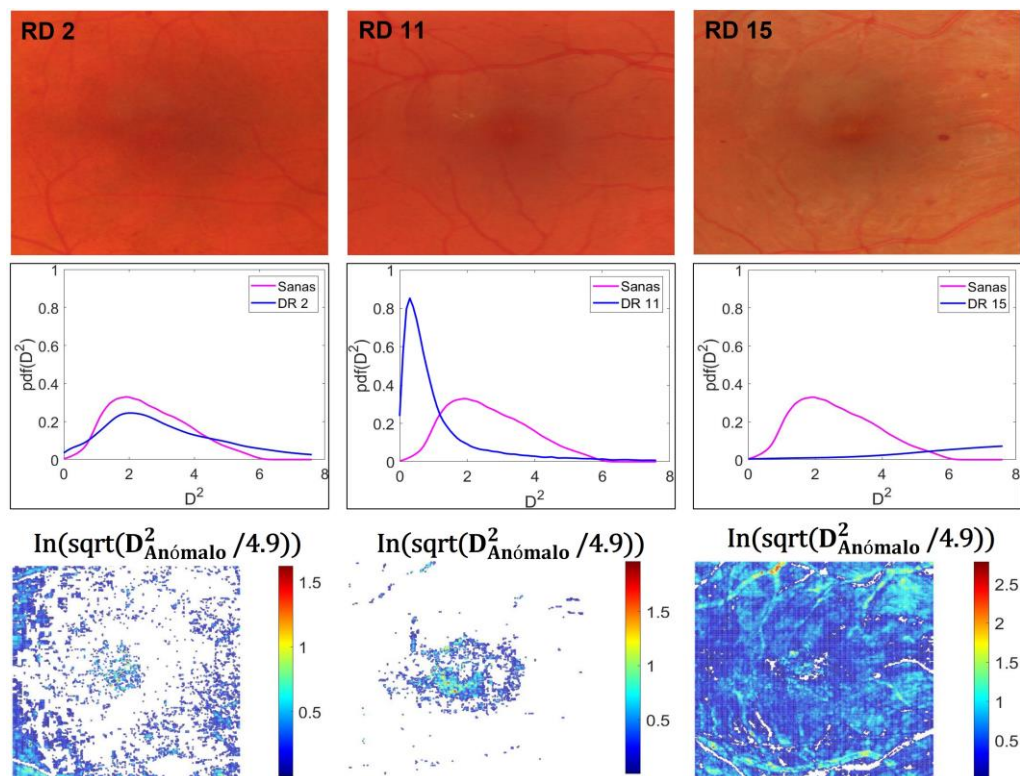


Figura 3. Resultados de la medida de la Distancia Mahalanobis para tres maculas de retinas con retinopatía diabética (DR2, DR11 leves y DR 15 avanzado). En la primera fila se muestran las imágenes de las tres maculas de las tres RD. En la segunda fila, se representan las  $pdf_{Anómalo}(D^2)$  de las maculas patológicas frente al  $pdf(D^2)$  de las retinas sana. En la tercera fila se señalan todos los puntos cuya  $D_{Anómalo}^2(p)$  excede del valor limite considerado (4.9). Para facilitar la visualización se representa el valor  $\ln(\sqrt{D_{Anómalo}^2/4.9})$

En la Fig. 3 se puede ver que las distribuciones de probabilidad  $D^2$  de las tres maculas patológicas (azul) se diferencian en ciertas zonas de la distribución media de probabilidad  $D^2$  de las máculas sanas (fucsia), por lo cual necesitamos saber cuales son esos puntos o zonas anómalas en la imagen. De aquí procedemos a dibujar todos los puntos que están por encima del valor límite de la distancia Mahalanobis de las maculas sanas como se puede ver en la Fig. 3. En la tercera fila de la Fig. 3, se muestra los resultados del método descrito, aplicado a 3 retinas afectadas por la RD con distintos grados de patología que van de caso leve (RD 2) a casos más avanzado como la (RD 15). Como se puede ver en estas imágenes, además de dibujar los puntos anómalos de las mismas, este método nos proporciona una cuantificación de la patología de las imágenes, lo que permite saber el grado de la afectación de la macula analizada en comparación con las maculas sanas. En la Fig. 3 puede verse como a medida que progresa que la patología, las distribuciones de probabilidad se alejan más de la distribución de las retinas sanas, y las escalas que cuantifican el grado de patología de cada píxel aumentan (ver Fig. 3 abajo). En el caso leve aparecen afectados principalmente la zona de irrigación alrededor de la mácula, afectándose posteriormente ésta (imagen central) para, en el caso de una patología avanzada aparecer prácticamente toda la imagen como patológica.

#### 4. Conclusiones

Se ha desarrollado un método de cuantificación de patología de mácula en retinopatía diabética para el análisis de imágenes de color YCbCr que parecen adaptadas a los cambios de claridad y croma que se producen en esta patología. El análisis estadístico de comparación con retinas sanas permite cuantificar el grado de patología de cada punto de la imagen correspondiéndose esta escala con la apreciación cualitativa de patología leve-severa que aparecen en las clasificaciones de las bases de datos de imágenes normalmente utilizadas. Estos trabajos apoyan resultados previos de los autores con otros sistemas de color y estructuras retinianas diferentes [7], lo cual abre la posibilidad de estudiar parámetros y sistemas de color generales en el estudio de características patológicas de imágenes retinianas.

**Agradecimientos:** Este trabajo fue desarrollado gracias a la beca predoctoral otorgada por la Universidad Complutense de Madrid y el Banco Santander (número de referencia CT82/20-CT83/20).

#### Bibliografía

- [1] D. Vaughan, T. Asbury, P. Riordan-Eva, J. Merigo Jane, J.A. Santos Pérez, P. Riordan-Eva, P. *Oftalmología general* (EL manual Moderno, 2000).
- [2] L.T. Sharpe, A. Stockman, H. Knau, H. Jägle, “Macular pigment densities derived from central and peripheral spectral sensitivity differences”, *Vision Research*, 38(21), p. 3233-9 (1998).
- [3] K.S. Deepak, J. Sivaswamy, “Automatic assessment of macular edema from color retinal images”, *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 31(3), p.766-76 (2012).
- [4] S. Bonafonte Royo, C. A. García. *Retinopatía diabética* (Mosby,1996).
- [5] R. Murray Spiegel, *Estadística Segunda Edición* (Schaum, McGraw-Hill, Madrid, 1991).
- [6] A. Budai, R. Bock, A. Maier, J. Hornegger, G. Michelson, “Robust Vessel Segmentation in Fundus Images”, *International journal of biomedical imaging*, 2013, p. 154860 (2013). Banco de datos imágenes: <https://www5.cs.fau.de/research/data/fundus-images/>, acceso, 4/05/2022.
- [7] A. Igalla El Youssfi, J.M. López Alonso, “Caracterización de zonas retinianas patológicas mediante distribuciones estadísticas de color y distancia de Mahalanobis”, *XIII Reunión Nacional de Óptica*, 22-24 noviembre, p. 81-82 (2021).

# Análisis colorimétrico de estructuras de fondo de ojo mediante retinografía multispectral

ÀÀ & ÁÉÖ !\* [ • ÈÖ \} } à^: FÉÁ [ { æ [ ÁÖÖ à ÆÖ^! } æ à [ ÁÖÖ ÈÖ [ ~ Ö } FÉÁ { ^ÁÚ ò | FÁÁ ^! à^ | Á Xáæ ^ & æ Á

<sup>1</sup>Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas, Universitat Politècnica de Catalunya. Rambla de Sant Nebridi 10, 08222 Terrassa, España.

[à\\\*bÍÈÈ}}È`ànÈ|\\*`Èæä|ÈÁ](mailto:à\*bÍÈÈ}}È`ànÈ|*`Èæä|ÈÁ)

**Resumen:** El análisis del fondo del ojo es crucial para prevenir enfermedades retinianas y coroideas ya que la mayoría no causan síntomas en etapas tempranas. Tratarlas cuando aparecen los primeros indicios es fundamental para evitar pérdidas de visión irreversibles. Con este propósito, el color de las estructuras de fondo de ojo de pacientes sanos y enfermos se evaluó a partir de imágenes adquiridas con una cámara de fondo de ojo multispectral (400nm-1300nm) con elevada resolución espectral y espacial. En ojos sanos aparecieron diferencias de color CIEDE2000 considerables entre arterias y venas por su diferente oxigenación; las fibras nerviosas y la fovea aparecieron más contrastadas respecto al fondo, produciendo diferencias de color relevantes. En ojos afectados por degeneración macular asociada a la edad, se pudieron identificar mejor que en retinografías en color las características drusas y alteraciones del disco óptico en pacientes con glaucoma mostraron valores CIEDE2000 elevados respecto a pacientes sanos.

## 1. Introducción

La retinografía es una de las técnicas más utilizadas para evaluar el fondo del ojo ya que proporciona información muy completa y con un gran campo de visión. La detección de cualquier tipo de alteración es crucial, especialmente en estadios iniciales, para realizar un diagnóstico y tratamiento acertado. Entre otras, las patologías oculares que causan pérdida de visión son el glaucoma y la degeneración macular asociada a la edad (DMAE). El glaucoma está asociado a una elevada presión intraocular que afecta principalmente a la capa de las fibras nerviosas (CFN) de la retina y se suele diagnosticar observando el disco óptico en imágenes de fondo de ojo o tomográficas [1]. Según estudios previos [2], la degeneración de la CFN causa cambios de reflectancia y color en el centro y la periferia del disco óptico que se podrían utilizar para la detección precoz de esta patología. La DMAE suele causar pérdida de visión central como resultado de una elevada concentración de lipofusina, un lípido amarillento producido por el proceso de fagocitosis de los fotorreceptores [3]. La lipofusina genera drusas blandas cuyo aspecto varía entre el blanco pálido y el amarillo brillante, no tienen bordes definidos y pueden alcanzar un tamaño por encima de las 1000 µm. Además, se consideran el primer signo de DMAE y están asociadas a un elevado riesgo de pérdida de visión. Por otra parte, las drusas duras tienen bordes más definidos, son de un tamaño menor y tienen menos probabilidad de evolucionar en una atrofia mayor [4].

La precisa caracterización espectral y colorimétrica de estructuras sanas de fondo de ojo es también importante cuando se buscan posibles alteraciones. La CFN es especialmente visible a longitudes de onda cortas-intermedias del rango visible mientras que el disco óptico se puede observar hasta los 1000 nm, principalmente a causa de la mielina que recubre las fibras nerviosas [1]. Los vasos de la retina se aprecian más brillantes a longitudes de onda largas (>580 nm) al absorber las cortas y se pueden discriminar fácilmente hasta los 800 nm ya que las venas (sangre desoxigenada) presentan una mayor absorción que las arterias (sangre oxigenada) en este rango [5]. El pigmento macular actúa como un filtro azul con un pico máximo de absorción a 460 nm, mientras que las estructuras que contienen melanina (epitelio pigmentario de la retina (EPR) y coroides) absorben longitudes de onda visibles hasta los 600 nm [6]. Todas estas características espectrales y colorimétricas de estructuras de fondos de ojo pueden pasar por alto al evaluarse con retinógrafos convencionales ya que presentan limitaciones relacionadas con la propia naturaleza colorimétrica de estos (metamerismo) al utilizar sensores RGB con solo tres

\* e-mail: àãá^`↔b`~È↓á {↔æãÈã | ã&~bM | \* `Èæä |

canales de banda ancha en el rango visible. Afortunadamente, la tecnología de imagen multiespectral ofrece una solución de compromiso entre los sistemas espectroscópicos y los de imagen RGB, unificando las ventajas de ambas técnicas: el muestreo espectral y la evaluación píxel a píxel. En este contexto, el objetivo de este trabajo consistió en estudiar las características colorimétricas de estructuras de fondos de ojos sanos y enfermos mediante una cámara de fondo de ojo multiespectral en el visible e infrarrojo cercano (400nm – 1300 nm) con elevada resolución espectral y espacial [7].

## 2. Materiales y métodos

Este estudio se llevó a cabo en pacientes sanos y enfermos en el Instituto de Microcirugía Ocular (Barcelona, España) y en el Centro Universitario de la Visión (Terrassa, España); los datos demográficos de los pacientes están contenidos en la Tabla 1. Los criterios de inclusión para los pacientes enfermos fueron que presentaran cualquier patología ocular que afectara solo al fondo del ojo como la DMAE o el glaucoma. Los criterios de exclusión para estos consistieron en la presencia de cualquier otra patología ocular o sistémica con afectación a nivel ocular, especialmente aquellas que pudieran alterar la transparencia de los medios oculares como las cataratas. Los criterios de inclusión para los pacientes sanos fueron más estrictos: mejor agudeza visual corregida igual o superior a 0,9 en escala decimal, presión intraocular igual o inferior a 21 mmHg y sin historial de ninguna patología o trauma ocular. Además, todos los pacientes presentaron una refracción esférica entre  $\pm 15D$  y astigmatismo  $\leq 2D$  debido al rango de medida del equipo desarrollado. Se obtuvo la aprobación del comité ético y todos los pacientes aportaron un consentimiento informado escrito antes de participar en el estudio. Los principios de la Declaración de Helsinki (según revisión de 2004 en Tokio) se siguieron durante todo el estudio.

| Condición | Ojos | Pacientes | Mujeres (%) | Hombres (%) | Edad (promedio $\pm$ desviación estándar [rango]; años) |
|-----------|------|-----------|-------------|-------------|---------------------------------------------------------|
| Enfermos  | 194  | 97        | 61,3        | 38,7        | 64,2 $\pm$ 17,1 [19, 95]                                |
| Sanos     | 126  | 81        | 54,4        | 45,6        | 47,9 $\pm$ 17,4 [19, 81]                                |

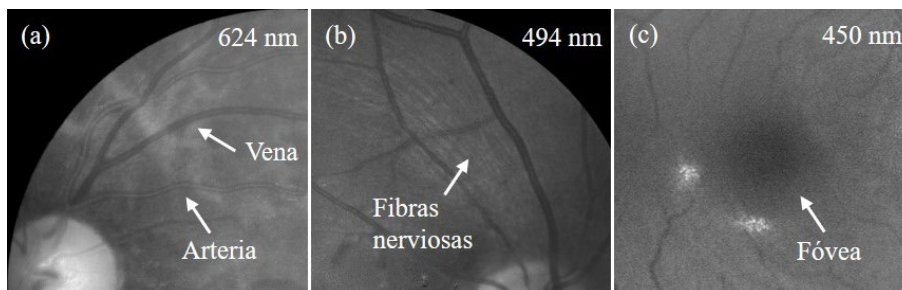
**Tabla 1:** Número de ojos, pacientes, distribución de género y edad para los pacientes enfermos y sanos.

La cámara de fondo de ojo multiespectral consiste en dos brazos de detección: uno desde el visible al infrarrojo cercano (VIS-IRC: 400nm – 950nm) y otro solo en el IRC (960 nm – 1300 nm) [7]. El sistema de iluminación se compone por tres anillos de diodos emisores de luz (*light-emitting diodes*, LEDs) que cubren 15 bandas espectrales con longitudes de onda de pico de 416, 450, 471, 494, 524, 595, 598, 624, 660, 732, 865, 955 n, 1025, 1096 y 1213 nm. Se trata de un equipo no midriático (no necesita dilatación pupilar), con 30° de campo de visión angular y una compensación esférica de  $\pm 15D$ . A pesar del amplio rango espectral, la adquisición de las 15 imágenes solo dura 613 ms (220 ms para las bandas espectrales VIS-IRC y 393 ms para las IRC). Esta característica es una de las grandes ventajas del prototipo desarrollado, siendo similar al tiempo de captura de las cámaras multiespectrales instantáneas (*snapshot*), pero conservando una elevada resolución espacial y espectral. Otra de las ventajas es que es el único equipo que evalúa el fondo del ojo más allá de los 1000 nm, pero esta queda fuera del alcance de este trabajo. El procesado de las imágenes consistió primero en la eliminación de los reflejos y no uniformidades causadas por los elementos ópticos y la fuente de iluminación. A continuación, se extrajeron los valores de reflectancia espectral a partir de las imágenes multiespectrales, dividiendo cada una de ellas por un blanco patrón calibrado (BN-R98-SQC, Gigahertz-Optik GmbH, Alemania); para los parámetros CIELAB se consideró el iluminante D65 y solo las imágenes comprendidas entre 400 y 700 nm. Debido a la ligera diferencia de transmitancia de los medios oculares entre pacientes, se utilizaron diferencias de color CIEDE2000 para comparar las estructuras de fondo de ojo de cada paciente.

## 3. Resultados y discusión

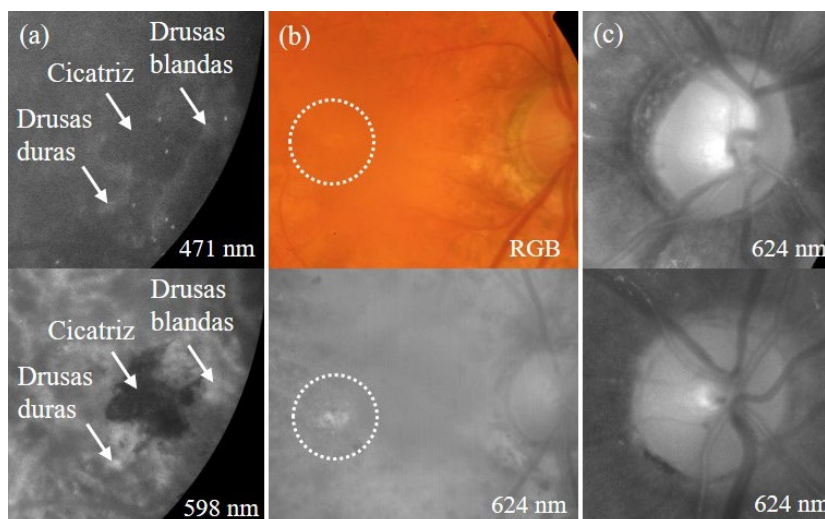
El elevado muestreo espectral obtenido dio lugar a una gran discriminación colorimétrica entre estructuras de fondo de ojo, resaltando detalles que podrían pasar desapercibidos por retinógrafos en color convencionales. Se evaluó el promedio  $\pm$  desviación estándar de las diferencias de color CIEDE2000 de varias estructuras para todos los pacientes sanos. Las diferentes propiedades de absorción de las arterias y las venas debido a la oxi- y deoxihemoglobina se reflejaron en  $6,0 \pm 3,0$  unidades CIEDE2000; la diferencia en términos de absorción entre las dos estructuras causadas por la diferente concentración de

oxígeno en sangre fue especialmente notable alrededor de 600 nm (Fig. 1a). En retinografías RGB, las fibras nerviosas son difíciles de observar, pero gracias al sistema multispectral desarrollado, revelaron  $6,6 \pm 4,6$  unidades CIEDE2000 con respecto al fondo del ojo sin estructuras. La Fig. 1b muestra cómo la CFN es más visible a longitudes de onda cortas ya que esta capa es muy superficial y las longitudes de onda cortas se reflejan superficialmente mientras que las más largas penetran más en el tejido. Del mismo modo, la fovea, que se aprecia más difuminada en retinografías RGB, se visualiza mejor en longitudes de onda cortas al actuar como un filtro azul (Fig. 1c); a partir de la cámara multispectral se obtuvo un resultado de  $6,2 \pm 3,9$  unidades CIEDE2000 con respecto al fondo sin otras estructuras.



**Figura 1:** Imágenes espectrales aumentadas a diferentes longitudes de onda de pacientes sanos. (a) Las arterias y las venas se pueden diferenciar claramente a 624 nm, siendo más claras las primeras. (b) Las fibras nerviosas resaltan en longitudes de onda cortas. (c) La fovea aparece oscura a longitudes de onda cortas, siendo claramente diferenciable del fondo.

Para los ojos enfermos, se evaluaron los casos más representativos y se calcularon los valores CIEDE2000 también para las retinografías RGB. Se obtuvieron 3,5 unidades CIEDE2000 entre las drusas duras y blandas para un ojo con DMAE exudativa (Fig. 2a), siendo de 1,5 unidades en la imagen RGB. Esta diferencia de color estuvo principalmente causada por un mayor valor de  $L^*$  de las drusas duras, que puede ser atribuido a una disminución en la absorción de la melanina ya que estas están normalmente asociadas a una pérdida celular del EPR. En otro ojo, una DMAE seca causó una degeneración del EPR que dio lugar a 4,9 unidades CIEDE2000 en comparación al fondo sin estructuras (2,2 unidades en imagen RGB). El hallazgo más significativo fue que la lesión prácticamente pasa desapercibida en la retinografía RGB debido al metamerismo (Fig. 2b arriba), lo cual prueba la importancia del muestreo espectral en la detección de lesiones sutiles y para el diagnóstico precoz de enfermedades de fondo de ojo.



**Figura 2:** Imágenes espectrales aumentadas a diferentes longitudes de onda de ojos afectados por DMAE exudativa (a) y seca (b), glaucoma (c-arriba) y sano (c-abajo). (a) Las lesiones se aprecian mejor a longitudes de onda visibles largas. (b) Una lesión muy sutil se detecta mediante la cámara de fondo de ojo multispectral desarrollada (abajo) mientras que pasa desapercibida en la retinografía RGB (arriba). (c) Se observa como la reflectancia es mayor en la parte central del disco óptico en el ojo afectado por glaucoma (arriba) que en el ojo sano (abajo), a parte de cubrir un área mayor en el primero.

Un ojo afectado por glaucoma se analizó colorimétricamente mediante la comparación del centro y la periferia del disco óptico. Esto produjo 13,9 unidades CIEDE2000, lo cual estuvo por encima del valor promedio encontrado para pacientes sanos ( $9,5 \pm 3,4$  unidades CIEDE2000). En la Tabla 2 se muestra que

esa mayor diferencia de color para el ojo con glaucoma se atribuye principalmente al aumento de  $L^*$  en la parte central del disco óptico (Fig. 2c arriba). Una hipótesis para este comportamiento puede ser que, como el glaucoma causa una degeneración de las capas del disco óptico, la lámina cribosa y las fibras nerviosas mielinizadas que salen del globo ocular por el nervio óptico quedan más expuestas, dando lugar a una mayor reflectividad. Además, el ojo afectado por glaucoma presenta una apariencia amarillenta más pura ya que la coordenada cromática  $a^*$  fue muy cercana a 0, lo que se corresponde a lo hallado por otros autores [2], quienes reportaron un espectro de reflectancia más plano con una contribución reducida a longitudes de onda cortas en ojos que padecían esta enfermedad. En este caso, los valores CIEDE2000 obtenidos a partir de las imágenes RGB fueron más cercanos a los calculados a partir de las imágenes multispectrales pero dieron lugar a una menor diferenciación entre ojos sanos y con glaucoma (Tabla 2).

| Condición        | Zona del disco óptico | $L^*$          | $a^*$          | $b^*$          | CIEDE2000 (MS) | CIEDE2000 (RGB) |
|------------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| Ojo con glaucoma | Periferia             | 76,0           | 3,5            | 5,2            | 13,9           | 13,6            |
|                  | Centro                | 91,6           | 0,5            | 16,3           |                |                 |
| Ojos sanos       | Periferia             | $72,6 \pm 5,7$ | $9,7 \pm 7,3$  | $12,0 \pm 8,1$ | $9,5 \pm 3,4$  | $12,1 \pm 4,2$  |
|                  | Centro                | $83,6 \pm 5,4$ | $12,1 \pm 6,9$ | $17,9 \pm 8,7$ |                |                 |

**Tabla 2:** Coordenadas cromáticas CIELAB y diferencias de color CIEDE2000 en la periferia y el centro del disco óptico para el ojo con glaucoma y el conjunto de ojos sanos. Los valores CIEDE2000 se muestran para las imágenes multispectrales (MS) y RGB.

#### 4. Conclusiones

El análisis colorimétrico basado en las imágenes obtenidas por la cámara de fondo de ojo multispectral ha demostrado ofrecer información cuantitativa y más precisa que la retinografía convencional basada en imágenes RGB, pudiendo contribuir a la mejora del diagnóstico del fondo del ojo. Dicha información podría utilizarse para segmentar de forma automática las diferentes estructuras y favorecer la detección de aquellas asociadas a patologías.

**Agradecimientos:** Este proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizon 2020 de la Unión Europea bajo el acuerdo de subvención Marie Skłodowska-Curie No. 801342 (Tecniospring INDUSTRY), así como de la Agència per a la Competitivitat de l'Empresa de la Generalitat de Catalunya (ACCIÓ). Además, esta publicación es parte del proyecto de I+D+i PID2020-112527RB-I00, financiada por MCIN/AEI/10.13039/501100011033.

**Descargo de responsabilidad:** Este trabajo solo expresa la opinión de los autores y ni la Unión Europea ni ACCIÓ son responsables del uso que se ha hecho de la información proporcionada.

#### Bibliografía

- [1] M. Yanoff, J. W. Sassani, *Optic Nerve in Ocular Pathology* (W.B. Saunders, London, 2015).
- [2] X. R. Huang, Y. Zhou, R. W. Knighton, W. Kong, W. J. Feuer, "Wavelength-dependent change of retinal nerve fiber layer reflectance in glaucomatous retinas", *Invest. Ophthalm. Vis. Sci.*, **53**(9), p. 5869 (2012).
- [3] H. R. Coleman, C.-C. Chan, F. L. 3rd Ferris, E. Y. Chew, "Age-related macular degeneration", *Lancet*, **372**(9652), p. 1835 (2008).
- [4] A. Abdelsalam, L. Del Priore, M. A. Zarbin, "Drusen in age-related macular degeneration: pathogenesis, natural course, and laser photocoagulation-induced regression", *Surv. Ophthalmol.*, **44**(1), p. 1 (1999).
- [5] T. J. M. Berendschot, P. J. DeLintb, D. V Norren. "Fundus reflectance—historical and present ideas", *Prog. Retin. Eye Res.*, **22**(2), p. 171 (2003).
- [6] R. A. Bone, J. T. Landrum, L. H. Guerra, C. A. Ruiz, "Lutein and Zeaxanthin Dietary Supplements Raise Macular Pigment Density and Serum Concentrations of these Carotenoids in Humans", *J. Nutr.*, **133**(4), p. 992 (2003).
- [7] T. Alterini, F. Díaz-Doutón, F. J. Burgos-Fernández, L. González, C. Mateo, M. Vilaseca, "Fast visible and extended near-infrared multispectral fundus camera", *J. Biomed. Opt.*, **24**(9), p. 096007-1 (2019).
- [8] H. Li, W. Liu, B. Dong, J. V. Kaluzny, A. A. Fawzi, H. F. Zhang, "Snapshot hyperspectral retinal imaging using compact spectral resolving detector array", *J. Biophotonics*, **10**(6-7), p. 830 (2017).

# Evaluación de la Microscopía Confocal como Herramienta de Diagnóstico en Enfermedades de los Glóbulos Rojos

Laura Rey-Barroso<sup>1\*</sup>, Mónica Roldán<sup>2</sup>, Francisco J. Burgos-Fernández<sup>1</sup>, Susanna Gassiot<sup>3</sup>, Anna Ruiz Llobet<sup>4</sup>, Ignacio Isola<sup>3</sup> y Meritxell Vilaseca<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas. Universitat Politècnica de Catalunya, Rambla de Sant Nebridi 11, Terrassa*

<sup>2</sup> *Unidad de Microscopía Confocal, Servicio de Anatomía Patológica / Instituto de Investigación Pediátrica, Hospital Sant Joan de Déu, Passeig Sant Joan de Déu 2, Esplugues de Llobregat*

<sup>3</sup> *Laboratorio de Hematología, Servicio de Diagnóstico de Laboratorio / Instituto de Investigación Pediátrica, Hospital Sant Joan de Déu, Passeig Sant Joan de Déu 2, Esplugues de Llobregat*

<sup>4</sup> *Servicio de Hematología Pediátrica, Hospital Sant Joan de Déu, Passeig Sant Joan de Déu 2, Esplugues de Llobregat*

<https://www.cd6.upc.edu/>

**Resumen:** La esferocitosis hereditaria (EH) provoca mutaciones en las proteínas de la membrana de los glóbulos rojos (GRs) que hacen que las células se deformen y se vuelvan demasiado rígidas para poder viajar a través de los vasos sanguíneos. Estas células anormales se destruyen masivamente en el bazo, lo que provoca anemia grave y esplenomegalia además de ictericia y cálculos biliares. El diagnóstico de la EH requiere la realización de complejas pruebas moleculares en la mayoría de casos. Para evitar la realización de dichas pruebas, la microscopía confocal espectral podría utilizarse en el diagnóstico de estas y otras enfermedades. En este estudio, se tiñó la membrana de los GRs con tintes de color e inmunomarcadores, y, bajo un microscopio Leica TCS8, se analizaron los posibles defectos de membrana expresados como diferencias en color y forma en pacientes con EH.

## 1. Introducción

El diagnóstico de las enfermedades de la sangre durante la infancia es crucial ya que pueden causar síndromes muy severos, afectando el correcto desarrollo de varios órganos. La EH es causada por mutaciones en las proteínas de membrana plasmática de los GRs. Éstas transportan moléculas dentro y fuera de las células y mantienen la estructura celular; cuando éstas mutan, la forma celular se ve afectada. En la EH, los GRs anormales que surgen más comúnmente tienen una forma esférica, por lo que se denominan esferocitos. Son demasiado rígidos para circular a través de los capilares, por ello se retiran de la circulación y se eliminan masivamente en el bazo. La escasez de GRs en circulación y la abundancia de células en el bazo producen los síntomas de la EH. Existen cuatro formas de EH, que se distinguen por la gravedad de los mismos. La forma leve (prevalencia = 20-30%) presenta una forma menor de anemia o no presenta sintomatología alguna. La forma moderada (prevalencia = 60-70%) provoca anemia, ictericia, esplenomegalia y, en ocasiones, cálculos biliares. La forma moderada/grave (prevalencia = 10%) presenta todos éstos y además una formamás grave de anemia. La forma grave (prevalencia = 3-5%) causa un tipo de anemia potencialmente mortal y los sujetos necesitan transfusiones de sangre frecuentes. También sufren de esplenomegalia, ictericia y un alto riesgo de desarrollar cálculos biliares. El diagnóstico de EH se basa en las manifestaciones clínicas y el historial médico familiar, pero también en la identificación de glóbulos rojos de forma anormal bajo microscopía óptica convencional. Deben identificarse los equinocitos (GRs con proyecciones espinosas pequeñas y espaciadas uniformemente) y, en especial, los esferocitos que presentan una forma redonda y un color más oscuro debido a la mayor cantidad de hemoglobina en un menor volumen. También se requieren los índices de un análisis de sangre y otros indicadores como el nivel de lactato deshidrogenasa y el nivel de bilirrubina fraccionada. Es común realizar el test de unión de eosina-5-maleimida (EMA) con las proteínas de membrana, principalmente con banda 3. La fluorescencia media de los GRs teñidos con EMA en pacientes con EH es más baja de lo normal. A pesar de estos recursos, no es trivial dar con un diagnóstico exacto. Para casos muy equívocos, es necesario realizar estudios de otras proteínas o incluso estudios genéticos.

\* e-mail: [laura.rey.barroso@upc.edu](mailto:laura.rey.barroso@upc.edu)

La microscopía espectral confocal está siendo ampliamente utilizada para el análisis espectral, colorimétrico y morfológico de cualquier muestra biológica. En esta técnica, se captura la emisión de un plano focal en la muestra y mediante la recolección de varios cortes axiales, se pueden reconstruir mapas de color en tres dimensiones (3D) con información sobre la funcionalidad, por ejemplo, de las proteínas de membrana en GRs. La proteína banda 3, la más abundante en membrana, se sabe que está afectada en la mayoría de pacientes con EH. Estudios previos han demostrado que la distribución de fluorescencia de banda 3 es diferente en pacientes sanos (controles) y pacientes con EH. También se ha observado que, aunque no se produzcan cambios morfológicos, pueden existir cambios en la distribución de fluorescencia relacionados con una variación en la organización molecular [1]. En otros trabajos, se tiñe la membrana plasmática de manera uniforme con tintes lipofílicos de colores no específicos de ninguna proteína. Estos se usan para la evaluación morfológica de los GRs, ya que se realizan en célula viva y por ello, la forma se conserva perfectamente. Los autores han demostrado que la microscopía confocal es la técnica más precisa para estimar el volumen y las dimensiones de los GRs [2]. En este trabajo se estudiaron las diferencias de intensidad y color en los GRs inmunomarcados con un anticuerpo (Ab) contra banda 3 y se analizaron las características morfológicas de los GRs tiñendo la membrana en célula viva.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Sujetos y preparación de muestras

Se recolectó la sangre total con heparina de litio de 6 pacientes pediátricos de entre 1 y 18 años. Se incluyeron 5 niños enfermos (denominados como EH<sub>1-5</sub>) y 1 niño sano como control (denominado EH<sub>C1</sub>). También se recolectó la muestra de 1 progenitor con EH (denominado EH<sub>P1</sub>). El sujeto EH<sub>4</sub> padecía una forma grave de EH y tuvo que ser esplenectomizado (SPL) para mejorar su calidad de vida. Los índices de GR (Tabla 1) para cada muestra se obtuvieron utilizando un analizador de hematología ADVIA 2120i (Siemens Healthcare Diagnostics Inc., Erlangen, Alemania) dentro de las 2 horas posteriores a la extracción. La severidad normalmente se relaciona con los índices de hemólisis, que consisten en la hemoglobina en sangre (Hb), el número de reticulocitos y la bilirrubina total. Se considera que un sujeto tiene una forma moderada de EH cuando Hb (g/dL) presenta valores entre 8 y 12, recuento de reticulocitos (%) > 6 y bilirrubina en micromoles por litro (μmol/L) > 34. Además, el número de esferocitos presentes en la muestra de sangre puede ser un indicador de la gravedad de la EH y en ocasiones está relacionado con el recuento de células hipercrómicas (%HPR).

| Paciente         | Hb (g/dL) | VCM (fl) | CHCM (pg) | %RETI | %HPR | %MICRO | Severidad  |
|------------------|-----------|----------|-----------|-------|------|--------|------------|
| EH <sub>1</sub>  | 13        | 70.8     | 36.8      | 1.96  | 6.5  | 13.5   | Leve       |
| EH <sub>P1</sub> | 13.4      | 93       | 37        | 6.12  | 22.9 | 0.5    | Leve       |
| EH <sub>2</sub>  | 13.6      | 77       | 36.2      | 3.13  | 13.9 | 5.7    | Leve       |
| EH <sub>3</sub>  | 16.9      | 86       | 34.9      | 2.60  | 5.3  | 0.9    | Leve       |
| EH <sub>4</sub>  | 14.5      | 80       | 35.9      | 3.61  | 5.6  | 2.2    | Leve – SPL |
| EH <sub>5</sub>  | 11.4      | 88       | 34.9      | 9.03  | 9.2  | 2      | Moderado   |
| EH <sub>C1</sub> | 14.5      | 90       | 33.9      | 1.70  | 0.4  | 0.3    | Sano       |

**Tabla 1:** Sujetos EH<sub>1-5</sub>, EH<sub>P1</sub> and EH<sub>C1</sub> caracterizados en términos de gravedad e índices de GRs, como la hemoglobina en sangre (Hb) en gramos por decilitro (g/dL); volumen medio corpuscular (VCM) en femtolitros (fL); hemoglobina corpuscular media (CHCM) en picogramos (pg), recuento de reticulocitos (%RETI), células hipercrómicas (HPR) y células microcíticas (MICRO).

Los estudios genéticos que se llevaron a cabo no revelaron ninguna diferencia sobre los lugares de mutación conocidos. Para el estudio de la funcionalidad de la membrana, banda 3 fue la proteína diana a marcar. Las células se fijaron con paraformaldehído al 2 % y se bloquearon con PBS-BSA al 1 %. Luego, se incubaron con un Ab monoclonal de ratón primario, BRIC 200, específico para unirse al dominio extracelular de banda 3. El fluorocromo adherido a este Ab es iFluor488 (International Blood Group Reference Laboratory, Bristol, Reino Unido) con una emisión verde fluorescente a 525 nm. Las muestras se montaron sobre portaobjetos para adquirir imágenes en 3D de la distribución de la fluorescencia del Ab sobre la membrana de los GRs. Para el estudio morfológico de los hematíes in vivo se utilizó la sangre total recién extraída sin adición de disolventes ni ningún otro tipo de solución salina. Las muestras se cargaron en placas de cultivo adherentes capaces de controlar el movimiento celular mientras se capturaban cortes axiales. La membrana celular y los núcleos se tiñeron respectivamente con tintes de color fluorescente CellMask™ Deep Red y Hoechst 33342 (Thermo Fisher Scientific Inc., MA EE. UU.)

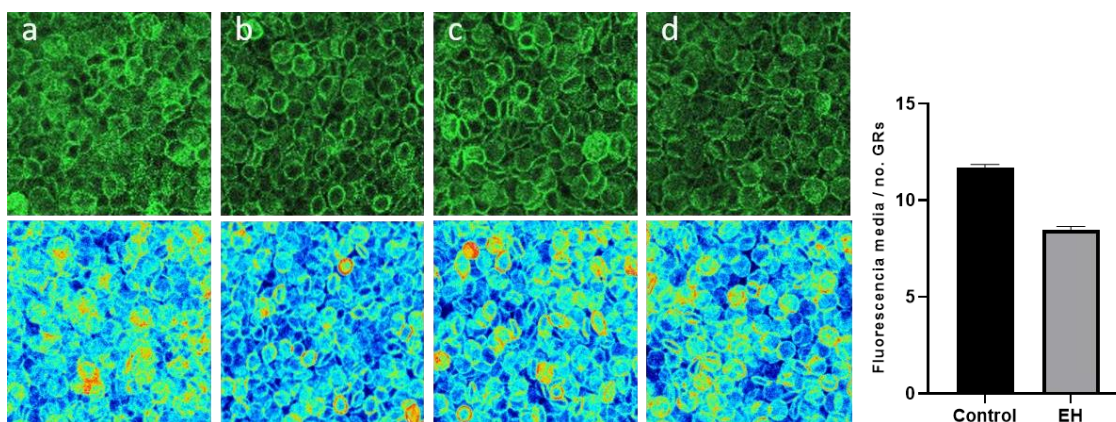
Los núcleos de los neutrófilos se tiñeron de azul para distinguirlos de los glóbulos rojos. Se habilitó el control de temperatura y  $\text{CO}_2$  dentro del microscopio para la mejor conservación de las muestras.

## 2.2. Evaluación mediante microscopía confocal espectral

Las muestras se analizaron con un microscopio confocal Leica TCS SP8 con superresolución STED 3x (Leica Microsystems GmbH, Mannheim, Alemania). Este incorpora detectores híbridos capaces de detectar señales con una elevada sensibilidad provenientes de los GRs desde 400 nm hasta 790 nm. El microscopio incorpora dos láseres de excitación: un láser de diodo con una emisión de 405 nm y un láser blanco que emite de 470 nm a 670 nm, combinado con un filtro sintonizable acústico-óptico (AOTF). Para el caso de las muestras inmunomarcadas, la emisión se recogió con un objetivo plan-apocromático de 40x (NA 1.1, agua) y un agujero estenopeico de 1.5 unidades Airy (AU). El BRIC 200, cuya molécula fluorescente es iFluor488, se excitó con el láser blanco (488 nm) y el AOTF se fijó al 70 % de potencia. Se realizó una secuencia de adquisición de imágenes  $xyz$  en una ventana de detección de 505–580 nm para obtener algunos cortes axiales de la distribución de fluorescencia del Ab. Para la evaluación de la forma celular in vivo, se excitó el tinte azul de ADN Hoechst 33342 con un láser de diodo azul (405 nm) y se detectó en el rango de 420 nm a 470 nm. El tinte rojo CellMask™ se excitó con un láser blanco (633 nm) y se detectó en el rango de 645 nm a 775 nm. El AOTF se fijó al 70 % de potencia y el objetivo utilizado fue un plan-apocromático de  $63 \times$  (NA 1.40, aceite) con un agujero estenopeico de 1 AU. Se utilizó una secuencia de adquisición de imágenes  $xyz$  para ambos canales y adquirir las imágenes 3D de la distribución de fluorescencia de los tintes de color, con 45 cortes axiales.

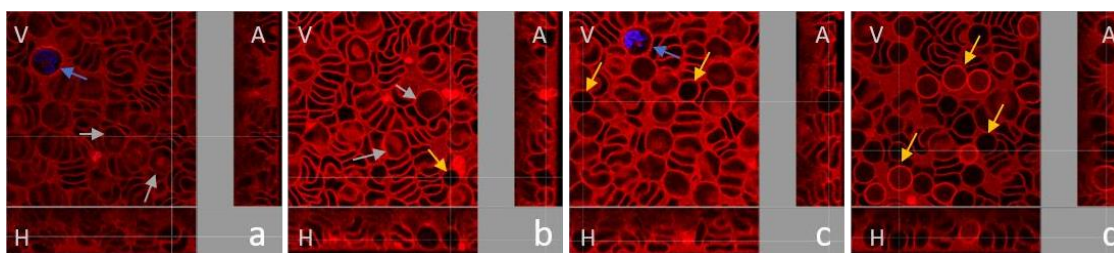
## 3. Resultados y discusión

Para el primer ensayo de inmunomarcaje celular, se obtuvieron algunos cortes axiales con banda 3 marcada en la membrana celular en 5-10 zonas sobre la muestra de cada sujeto. Las membranas se tiñeron con un color verde brillante y se obtuvo la imagen proyección suma de dichos cortes. De cada imagen proyección suma se calculó la intensidad de fluorescencia media y está se normalizó por la estimación de población celular para cada zona. En la Fig. 1, representamos algunos de los campos adquiridos para cuatro de los sujetos. A pesar de que en dichas imágenes no se aprecian diferencias, el cómputo de la fluorescencia media para todos los campos de cada sujeto dio lugar a valores menores para los pacientes que para el control. Esto se puede asociar a lo anteriormente descrito en la bibliografía, referido al test de unión EMA con las proteínas de membrana, principalmente con banda 3. Al contrario que lo que describen en otros trabajos, no apreciamos diferencias en cómo está distribuido el Ab en la membrana. Esto probablemente sea debido a la alta densidad celular de nuestras muestras o a la hemoaglutinación indirecta que produce el Ab. Para el ensayo in vivo, se adquirieron las imágenes 3D para 5-10 zonas diferentes sobre las muestras de cada sujeto. Las membranas se tiñeron con un color rojo brillante CellMask™ que permitió la evaluación morfológica precisa de los GRs al evaluar la fluorescencia del tinte en el rango de 645 a 775 nm.



**Figura 1:** Corte axial del conjunto de imágenes adquirido en el rango 505-580 nm para una zona (arriba) y la proyección suma de las imágenes (abajo) para (a)  $\text{EH}_{c1}$ , campo 03; (b)  $\text{EH}_1$ , campo 04; (c)  $\text{EH}_s$ , campo 02; (d)  $\text{EH}_{p1}$ , campo 03. Gráfico de fluorescencia media normalizada por la población celular para el paciente control y los pacientes con EH (derecha)

Como se aprecia en la Fig. 2, los glóbulos rojos sanos presentan la forma bicóncava característica y una región central más pálida. Los esferocitos, son más pequeños, esféricos e hiperocrómicos ya que tienen más hemoglobina en relación al volumen celular, que es  $< 80 \mu\text{m}^3$ . Los neutrófilos se diferencian por sus núcleos teñidos de azul brillante Hoechst 33342, que tiñe el material genético. A partir de las imágenes de la Fig. 2, podemos identificar todos estos tipos celulares y apreciar cómo en algunas muestras hay un mayor número de esferocitos, dichas muestras tienen un %HPR mayor, indicado en la Tabla 1. El %HPR puede darnos una estimación del número de esferocitos para cada sujeto, pero la identificación de esferocitos en imágenes espectrales obtenidas mediante microscopía confocal es un método directo e inequívoco. Sobre estas imágenes 3D también es posible lograr la detección automática de los esferocitos en cada muestra, mediante técnicas de procesamiento de imagen. Esto permitiría obtener una estimación del número de células anormales que podría relacionarse con la gravedad de la enfermedad, y que se podría obtener de manera inmediata.



**Figura 2:** Imágenes 3D en representación vertical, horizontal y axial (V, H, A) para (a)  $\text{EH}_{\text{C1}}$  sin esferocitos y %HPR = 0.4; (b)  $\text{EH}_3$  con unos pocos esferocitos (flechas amarillas) y %HPR = 5.3, en (c)  $\text{EH}_5$  con algunos esferocitos y %HPR = 9.2; (d)  $\text{EH}_{\text{P1}}$  con gran número de esferocitos y %HPR = 22.9. Los neutrófilos se indican con flechas azules y los GRs normales con flechas grises.

Tanto la imagen en célula viva y como la del inmunomarcaje de proteínas que se sospeche que están afectadas, pueden orientar a los hematólogos a la hora de dar un diagnóstico. Éstas ofrecen información diferente y complementaria

#### 4. Conclusiones

A diferencia de la microscopía convencional, la microscopía espectral confocal permite la evaluación precisa e inequívoca de la forma celular. También permite la evaluación de la funcionalidad de diferentes componentes celulares, en este caso ha permitido identificar un déficit de banda 3 en pacientes con EH. Mediante la identificación de esferocitos en las imágenes en célula viva y su cuantificación y, por otro lado, y de forma complementaria, la obtención de diferencias en la fluorescencia de una proteína marcada que pueda estar afectada, los hematólogos pueden comprobar el grado de afectación y los posibles defectos de membrana que causan la enfermedad.

**Agradecimientos:** PID2020-112527RB-I00 financiado por MCIN/AEI/ 10.13039/501100011033.

#### Bibliografía

- [1] J. Cluitmans et al., "Red Blood Cell Homeostasis: Pharmacological Interventions to Explore Biochemical, Morphological and Mechanical Properties", *Haematologica*, **93**, 10 (2016).
- [2] B. Rappaz et al., "Comparative study of human erythrocytes by digital holographic microscopy, confocal microscopy, and impedance volume analyzer", *Cytom. Part A*, **73**, p. 895 (2008).

# Color-based sensory tests for the evaluation of foods and beverages containing phycoerythrin extract as natural dye

Raquel Carmona<sup>1</sup>, Irene Blanco<sup>1</sup> and Ruperto Bermejo<sup>1\*</sup>

(1) *Departamento de Química Física y Analítica, Escuela Politécnica Superior de Linares, Campus Científico Tecnológico de Linares, Universidad de Jaén, 23700 Linares, Spain.*

*\*e-mail: rbermejo@ujaen.es*

## Resumen

Actualmente existe interés en sectores industriales como los de la alimentación, farmacia y cosmética, por reemplazar los colorantes artificiales por compuestos naturales. Sin embargo, siguen predominando los de carácter sintético debido al escaso número de colorantes naturales y su pequeña gama de colores, además de su mayor coste. La ficoeritrina es una cromoproteína procedente de algas, que posee un elevado potencial como colorante por su intenso color rosado y por sus propiedades inmuno-moduladoras y anticancerígenas.

En este trabajo se han preparado alimentos y bebidas utilizando un extracto rico en ficoeritrina como colorante natural. Se han formulado productos lácteos como batidos, yogures, leches condensadas y helados, y bebidas como tónicas, isotónicas vinos y ginebras. Mediante test sensoriales basados en el color, se han obtenido resultados que indican una buena aceptación por parte de los consumidores, lo cual podría ser tenido en cuenta para la formulación de alimentos y bebidas que utilicen este nuevo tipo de aditivos.

## 1.-Introducción

La industria agroalimentaria reconoce el color como una de las propiedades más relevantes en términos de aceptación por parte de los consumidores [1]. En este sentido, y aunque los colorantes sintéticos siguen predominando, el mercado de los colorantes naturales ha crecido considerablemente en base a que los compuestos sintéticos son potencialmente tóxicos en organismos susceptibles. No obstante, la utilización de compuestos sintéticos sigue siendo predominante, debido al escaso número de colorantes naturales y su pequeña gama de colores, además de su mayor coste [2].

Las biliproteínas, son proteínas hidrosolubles que destacan por su variedad de colores intensos y atractivos, haciendo que estas macromoléculas posean un elevado potencial de utilización como colorantes naturales, pudiendo reemplazar a los tradicionales colorantes sintéticos. Las biliproteínas más abundantes en la naturaleza son las ficoeritrinas y las ficocianinas. Las ficoeritrinas poseen tonalidades rosas, rojas y anaranjadas, mientras que las ficocianinas poseen colores de la gama de los azules y morados. Por tanto, la gama y la intensidad de colores disponibles, así como la abundancia relativa de estas proteínas en los organismos de procedencia, hacen de ellas excelentes candidatos para su empleo como colorantes, constituyendo una alternativa real para el incremento y diversificación de la oferta de colorantes naturales existentes en el mercado [3,4].

## 2. Materiales y Métodos

Para la coloración de los alimentos y bebidas se ha obtenido un extracto rico en ficoeritrina (0.75 mg/ml) a partir de biomasa de la microalga *Porphyridium cruentum* liofilizada, mediante la metodología desarrollada anteriormente por nuestro grupo de investigación [5].

### Medida del color

La determinación espectrofotométrica del color se ha realizado utilizando un espectrocolorímetro Konica Minolta CM-5. El equipo proporciona medidas en el espacio de color CIELAB. Se ha utilizado iluminante D65 y observador patrón colorimétrico CIE 1931. Después de la calibración adecuada del equipo, se ha procedido a la medida del color de las muestras en modo reflectancia y transmitancia para los alimentos lácteos y bebidas respectivamente. De forma general, se procedió a medir los parámetros de

color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) de todas las muestras de bebidas en cubetas (4.2 x 3.2 x 1.0 cm) para medidas de transmitancia y en placas Petri (1.5 x 6.0 cm) para las medidas mediante reflectancia en las muestras de alimentos lácteos en los que apenas existe transmisión.

### Test sensoriales

Para el caso de las bebidas, se prepararon 21 ml (botellitas pequeñas de vidrio transparente) a los que se adicionó la cantidad de extracto necesario para alcanzar diferentes concentraciones que generan diferentes colores. Para el caso de los alimentos lácteos, se utilizaron 10 g de muestra de cada uno de ellos, suficiente para cubrir la mitad de capacidad de las placas Petri utilizadas, a los que igualmente se añadió la cantidad adecuada de extracto para obtener las diferentes concentraciones de ficoeritrina y por tanto colores a evaluar. Las Tablas 1 y 2, muestran los alimentos y bebidas preparadas utilizando el extracto de ficoeritrina con diferentes concentraciones así como las muestras comerciales utilizadas que suelen llevar como aditivo colorante los compuestos E-120 y E-129.

| Alimento/Bebida                                            | Tipo de muestra              | Muestra                  | Blanco                     |
|------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Alimento Lácteo                                            | Batidos de fresa             | A1                       | Leche Semidesnatada Puleva |
|                                                            |                              | A2                       |                            |
|                                                            |                              | A3                       |                            |
|                                                            |                              | A 4 Batido Fresa Covap   |                            |
|                                                            | Yogures de fresa             | B1                       | Yogur Natural Hacendado    |
|                                                            |                              | B2                       |                            |
|                                                            |                              | B3                       |                            |
|                                                            |                              | B4 Yogur Fresa Hacendado |                            |
|                                                            | Leches Condensadas           | C1                       | Leche Condensada Milvalles |
|                                                            |                              | C2                       |                            |
| C3                                                         |                              |                          |                            |
| C4 (0.075 mg PE/ml)<br>(no existe muestra comercial fresa) |                              |                          |                            |
| Helados                                                    | D1                           | Helado Nata Hacendado    |                            |
|                                                            | D2                           |                          |                            |
|                                                            | D3                           |                          |                            |
|                                                            | D4 Helado Fresa Corte Inglés |                          |                            |

**Tabla 1.-** Alimentos lácteos obtenidos por adición del extracto de ficoeritrina (0.75 mg/ml) obtenido a partir de microalgas. La numeración de las muestras corresponde a diferente concentración de ficoeritrina PE: 1=0.025 mg/ml; 2=0.05 mg/ml; 3=0.1 mg/ml.

| Alimento/Bebida | Tipo de muestra            | Muestra                 | Blanco                      |
|-----------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Bebidas         | Bebidas isotónicas         | A1 (0.0044 mg/ml)       | Isotónica Incolora Powerade |
|                 |                            | A2 (0.01 mg/ml)         |                             |
|                 |                            | A3 (0.02 mg/ml)         |                             |
|                 |                            | A4 Powerade zero rosado |                             |
|                 | Tónicas                    | B1 (0.0014 mg/ml)       | Original Incolora           |
|                 |                            | B2 (0.004 mg/ml)        |                             |
|                 |                            | B3 (0.008 mg/ml)        |                             |
|                 |                            | B4 Original Rosa        |                             |
|                 | Ginebras                   | C1 (0.0015 mg/ml)       | Gin Larios Incolora         |
|                 |                            | C2 (0.004 mg/ml)        |                             |
|                 |                            | C3 (0.008 mg/ml)        |                             |
|                 |                            | C4 (Puerto Indias Rosa) |                             |
| Vinos           | D1 (0.003 mg/ml)           | Diamante Rioja          |                             |
|                 | D2 (0.006 mg/ml)           |                         |                             |
|                 | D3 (0.009 mg/ml)           |                         |                             |
|                 | D4 (Diamante Rosado Rioja) |                         |                             |

**Tabla 2.-** Bebidas obtenidas por adición del extracto de ficoeritrina (0.75 mg/ml) obtenido a partir de microalgas. Cada tipo de muestra ha precisado cantidad de extracto diferente de ficoeritrina para alcanzar diferente concentración y color.

Se prepararon tres muestras utilizando la adición del extracto (muestras 1, 2 y 3) y se utilizó un ejemplo de muestra comercial para comparación (muestra 4). Para adicionar el extracto se utilizó como muestra blanco, una encontrada en el comercio pero sin el color rosa que se persigue imitar. Se ha utilizado un test hedónico de cinco puntos (escala de valoración) para medir el color y la apariencia global como atributos de las muestras. Los test sensoriales basados en el color han sido realizados por un total de 44 personas, de diferente sexo y edad, sin entrenamiento previo. Las muestras se colocaron para su observación por los consumidores, en una cabina de control de iluminación VeriVide CAC 60 (Fig. 1). La

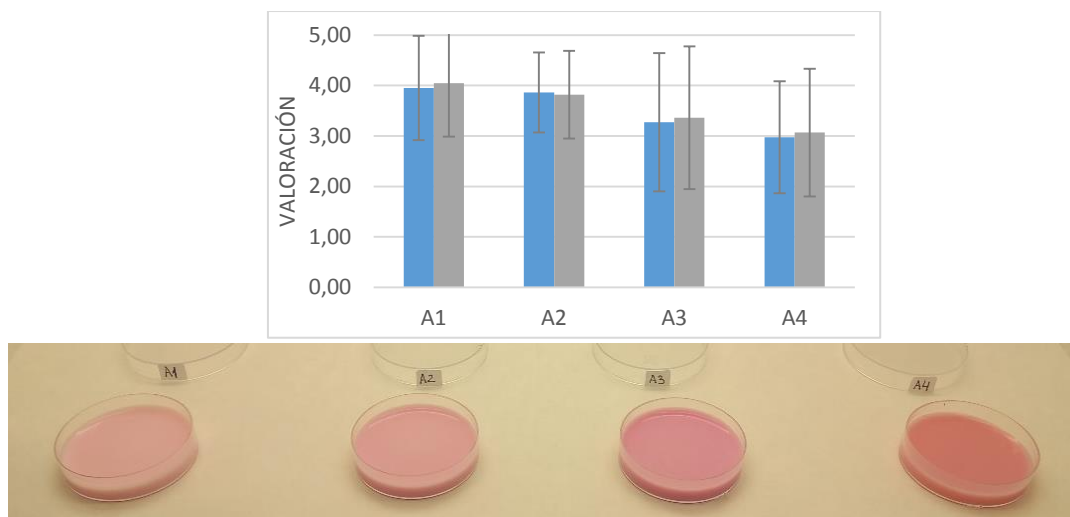
aceptabilidad de los consumidores se ha medido utilizando la siguiente escala de puntos: 1: no me gusta nada; 2: no me gusta; 3: ni me gusta ni me disgusta; 4: me gusta; 5: me gusta mucho.



**Figura 1.-**Evaluación por parte de los consumidores de las muestras de alimentos y bebidas en cabina de iluminación controlada VeriVide CAC 60.

### 3. Resultados y Discusión

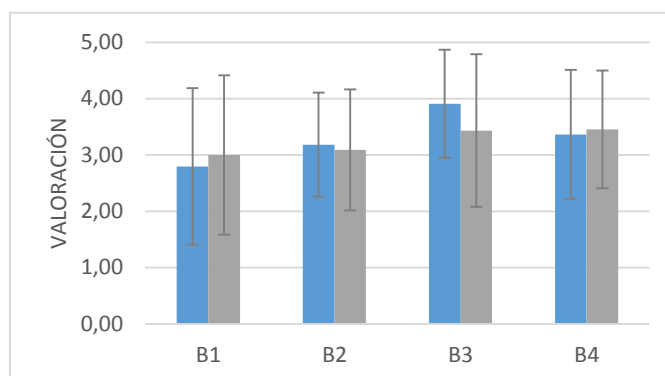
Se han realizado test sensoriales utilizando un total de 8 familias de alimentos y bebidas, 4 de alimentos lácteos (batidos, yogures, leches condensadas y helados) y 4 de bebidas (isotónicas, tónicas, ginebras y vinos). Para cada familia se han preparado cuatro muestras como se indica en la Tabla 1. Como ejemplo la Fig. 2 muestra los resultados obtenidos para los batidos como alimento lácteo y la Fig. 3 los resultados para aguas tónicas como ejemplo de las bebidas ensayadas. Las preguntas realizadas a los consumidores han sido que para cada una de las muestras que se les presentaban, el color (barra azul) y la apariencia global (barra gris).



**Figura 2.-** BATIDOS. Arriba: Valoración obtenida mediante panel test-sensorial por consumidores. Abajo: Imagen de las muestras ensayadas (de izquierda a derecha A1, A2, A3 y A4). **Barra Azul:** Color. **Barra gris:** Apariencia Global

En el caso de los resultados mostrados en la Fig. 2, puede apreciarse como la mejor valoración la ha recibido la muestra A1 que representa a la obtenida por adición de la menor cantidad de extracto y que generó una concentración de ficoeritrina en el batido igual a 0.025 mg/ml, seguida muy de cerca por la muestra A2 obtenida también de la misma forma pero adicionando el doble de cantidad de proteína colorante (0.05 mg/ml). Es de resaltar que incluso la muestra A3, que también fue preparada con el extracto, ha recibido mayor valoración que la muestra comercial A4, constituida por el batido de fresa de la marca Covap.

Respecto al ejemplo mostrado para el caso de bebidas (Fig. 3) y que corresponde a agua tónicas con tonalidad rosa, la mejor valoración la recibió la muestra B3, correspondiente a la preparada con el extracto de ficoeritrina a una concentración de 0.008 mg/ml de la misma. Las otras dos muestras preparadas con el extracto (B1 y B2) recibieron menor valoración que la muestra comercial mostrada (B4), que correspondía a la tónica de la marca comercial Original.



**Figura 3.- TÓNICAS.** Arriba: Valoración obtenida mediante panel test-sensorial por consumidores. Abajo: Imagen de las muestras ensayadas (de izquierda a derecha B1, B2, B3 y B4) **Barra Azul:** Color. **Barra gris:** Apariencia Global

#### 4. Conclusiones

En términos generales, examinando los datos de valoración de todos los test correspondientes a las ocho muestras ensayadas (batidos, yogures, leches condensadas, helados, isotónicas, tónicas, ginebras y vinos), los resultados muestran que la valoración por parte de los consumidores de alguna de las muestras preparadas para cada familia, usando el extracto de ficoeritrina, supera o es similar a la valoración de la muestra que se está comercializando actualmente.

Estos resultados muestran que la utilización del extracto de ficoeritrina constituye una potencial vía alternativa de coloración con una serie de ventajas, como su abundancia en las microalgas de las que proceden, su elevada capacidad de coloración y la posibilidad de sustitución de colorantes sintéticos actualmente utilizados, por otros de origen natural.

#### Bibliografía

- [1]Wrolstad, R. E., Acree, T. E., Decker, E. A., Penner, M. H., Reid, D. S., Schwartz, S. J., ... & Sporns, P. (2005). Handbook of food analytical chemistry: pigments, colorants, flavors, texture, and bioactive food components. John Wiley and Sons, Inc.
- [2]Delgado-Vargas, F., & Paredes-Lopez, O. (2003). Natural colorants for food and nutraceutical uses. CRC press.
- [3]García, A.N., Longo, E., Murillo, M.C. and Bermejo, R. (2021a). *Molecules*, 26, 297.
- [4]García, A.N., Longo E. and Bermejo, R. (2021b). *Journal of Applied Phycology*, 33, 5059-3070.
- [5]Bermejo, R., Ruiz, E., Ramos, A., & Acién, F. G. (2013). Pilot-scale recovery of phycoerythrin from *Porphyridium cruentum* using expanded bed adsorption chromatography. *Separation Science and Technology*, 48(13), 1913-1922.

## Control de calidad en nuez entera mediante análisis de imagen

Julio Nogales-Bueno<sup>1</sup>, Ana Elisa Rato<sup>2</sup>, José Miguel Hernández-Hierro<sup>3</sup>, Berta Baca-Bocanegra<sup>1</sup>,  
Francisco José Heredia<sup>3</sup> y Francisco José Rodríguez-Pulido<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> *Lab. Color y Calidad de Alimentos. Departamento de Química Analítica. Fac. de Farmacia, Universidad de Sevilla, 41012 Sevilla, España*

<sup>2</sup> *MED – Mediterranean Institute for Agriculture, Environment and Development, & Departamento de Fitotecnia, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora, Évora, Portugal*

<sup>3</sup> *Lab. Color y Calidad de Alimentos. Universidad de Sevilla. Fac. Farmacia, 41012 Sevilla, España*

<http://www.color.us.es>

**Resumen:** El consumo de nuez está muy extendido a nivel mundial debido a sus propiedades organolépticas y a su composición rica en compuestos bioactivos potencialmente beneficiosos para la salud. En este estudio se han desarrollado métodos no destructivos para el control varietal y la detección de desperfectos de nueces con cáscara a partir de análisis de imagen digital. Se ha obtenido un porcentaje de clasificación correcta en validación externa del 77% para la identificación de la variedad de nuez y del 100% para la detección de nueces defectuosas. Queda de manifiesto, por tanto, el gran potencial que tiene esta técnica para, analizando la nuez completa con cáscara, evaluar la defectología en su interior.

### 1. Introducción

Existen evidencias de consumo de nuez (*Juglans regia* L.) desde el neolítico, siendo en la Grecia Antigua cuando se describieron por primera vez algunas de sus propiedades nutricionales más importantes[1]. Actualmente, la nuez es uno de los frutos secos más consumidos a nivel mundial. En la campaña 2020/2021 se alcanzó el millón de toneladas producidas, lo que implica un incremento del 50% sobre la producción media en la última década[2]. Además de sus cualidades organolépticas, el auge de este producto se debe a su composición rica en compuestos bioactivos potencialmente beneficiosos para la salud como ácidos grasos insaturados, aminoácidos, taninos hidrolizables, vitaminas A, C y E, así como otros tocoferoles[3]. La inclusión de nuez en la dieta ha sido relacionada con un descenso en la incidencia de desórdenes cardiológicos, neurológicos y algunos tipos de cáncer[1].

A nivel mundial, más de la mitad de las importaciones y exportaciones de nuez se realiza en fruto con cáscara. Esta proporción se mantiene también en la península ibérica[4]. Los consumidores valoran la nuez con cáscara por considerarla un producto más natural y con un menor grado de procesado. Además, mantener la cáscara permite que el fruto se conserve en buen estado durante un mayor periodo de tiempo, reduciéndose los procesos oxidativos y de enranciamiento que afectan al aroma, textura y sabor del fruto[5]. Por el contrario, la identificación de desperfectos en la nuez es mucho más compleja cuando se trata de frutos con cáscara. Normalmente, la industria usa sistemas mecánicos basados en las diferencias de peso y densidad para identificar las nueces con desperfectos aunque, la efectividad de estos sistemas está lejos de ser total.

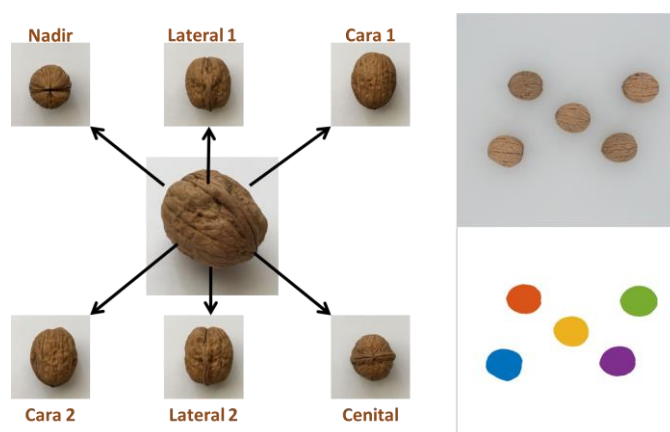
Además de su consumo directo, la nuez es también utilizada por la industria alimentaria para la obtención de otros productos. Por ejemplo, dada la importancia de su fracción lipídica, entre el 50 y el 75% en peso según la variedad, gran parte de la producción de nuez se dedica a la elaboración de aceite[6]. Asimismo, diferentes variedades de nogal producen frutos con diferencias importantes en sus propiedades organolépticas y en sus ratios cáscara-fruto[7]. Por último, la variedad también tiene influencia en la frecuencia y en el tipo de desperfectos que aparecen en el fruto. Tradicionalmente, la identificación de la variedad se ha realizado mediante análisis sensorial del fruto, bien sea mediante la inspección visual de la cáscara o del fruto o mediante la evaluación de las características organolépticas de este último[7].

\* e-mail: rpulido@us.es

En este estudio se pretenden sustituir estas técnicas tradicionales de identificación de frutos defectuosos y de discriminación varietal por métodos basados en análisis de imagen digital. Para ello se han adquirido, en condiciones de iluminación controlada, imágenes en la región espectral del visible de nueces de diferentes variedades y con presencia o ausencia de desperfectos. El principal objetivo de este estudio es, por tanto, obtener métodos que, a partir de análisis de imagen digital, permitan hacer una discriminación varietal de nueces con cáscara y que permitan, además, identificar que frutos presentan desperfectos en su interior.

## 2. Material y métodos

Se recolectaron un total de 280 nueces en la región del Alentejo portugués. El conjunto de muestras contenía 5 variedades diferentes: ‘Chandler’, ‘Franquette’, ‘Howard’, ‘Lara’ y ‘Tulare’. Utilizando un sistema de adquisición de imágenes digitales en condiciones de iluminación controlada (DigiEye®, VeriVide Ltd. Leicester, UK), se adquirieron imágenes digitales de las muestras en grupos de 5 nueces. Cada grupo de nueces fue fotografiado en 6 orientaciones diferentes (Fig. 1). Tras la adquisición de estas imágenes, la cáscara de cada fruto fue retirada y se comprobó qué frutos mostraban desperfectos y cuáles no.



**Figura 1:** Orientaciones en las que fueron adquiridas las imágenes de cada nuez (izquierda). Imagen ejemplo de un grupo de 5 nueces en la orientación “Cara 1” y su máscara de segmentación (derecha).

Mediante un algoritmo desarrollado en MATLAB (TheMathWorks, Inc., MA, USA), se extrajo la información geométrica y colorimétrica de cada muestra siguiendo la metodología descrita en Rodríguez-Pulido y col.[8]. De forma aleatoria se seleccionó un cuarto de las muestras y se reservaron estas para realizar posteriores actividades de validación. Con el resto de las muestras se realizó un análisis discriminante por pasos hacia adelante en SPSS 25.0 (SPSS, Inc., Chicago, IL, USA) en el que se introdujeron los datos geométricos y colorimétricos para discriminar las muestras según su variedad y su estado de conservación. Se obtuvieron así modelos de clasificación de nueces con cáscara según su variedad y su estado de conservación (presencia o ausencia de desperfectos). La bondad de estos modelos fue evaluada utilizando el grupo de muestras reservado para realizar la validación externa.

## 3. Resultados y discusión

Mediante el análisis de imagen realizado para cada nuez, se extrajeron un total de 15 variables correspondientes a las características geométricas de las muestras, 66 variables correspondientes a las variables colorimétricas del espacio de color CIELAB y 24 variables relacionadas con los elipsoides de color (Tabla 1). *Grosso modo*, estos elipsoides están relacionados con la apariencia que tiene la nube de puntos formada por las variables colorimétricas del espacio de color CIELAB de los píxeles que componen cada una de las imágenes de una nuez[8]. En el caso de las variables geométricas, es necesario tener en cuenta que algunas de ellas fueron eliminadas debido a que eran obtenidas por duplicado en las

diferentes perspectivas tomadas (por ejemplo, los diámetros de las nueces en la perspectiva cenital y nadir son equivalentes y se calculó el diámetro medio entre ambos). Las variables colorimétricas contienen los valores promedio y las desviaciones estándar de las variables más representativas del espacio de color CIELAB para cada una de las 6 orientaciones de cada nuez tenidas en cuenta. Por último, las variables relacionadas con los elipsoides de color son, de nuevo para cada una de las orientaciones, el alto y ancho del elipsoide, el cociente de estos dos valores y la orientación del elipsoide respecto a la horizontal en el diagrama  $a^*b^*$ . En la Tabla 1 aparece una descripción más pormenorizada de las variables extraídas.

| Variable      | Cantidad | Tipo           | Descripción                                                                      |
|---------------|----------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Diámetro      | 3        | Geométricas    | Diámetro de una circunferencia con el mismo área que la nuez                     |
| Perímetro     | 3        | Geométricas    | Perímetro de la nuez                                                             |
| Área          | 3        | Geométricas    | Área de la nuez                                                                  |
| Máximo        | 3        | Geométricas    | Máxima longitud de la nuez                                                       |
| Mínimo        | 3        | Geométricas    | Mínima longitud de la nuez                                                       |
| $L^*$         | 12       | Colorimétricas | Claridad. Medias y desviaciones estándar para cada orientación medida            |
| $a^*$ y $b^*$ | 24       | Colorimétricas | Coordenadas colorimétricas. Medias y desviaciones estándar para cada orientación |
| $C^*_{ab}$    | 12       | Colorimétricas | Croma. Medias y desviaciones estándar para cada orientación medida               |
| $h_{ab}$      | 12       | Colorimétricas | Tono. Medias y desviaciones estándar para cada orientación medida                |
| MCDM          | 6        | Colorimétricas | Media de las diferencias de color respecto al color medio                        |
| Alto          | 6        | Elipsoides     | Longitud del eje mayor del elipsoide                                             |
| Ancho         | 6        | Elipsoides     | Longitud del eje menor del elipsoide                                             |
| Cociente      | 6        | Elipsoides     | Cociente del alto y el ancho                                                     |
| Ángulo        | 6        | Elipsoides     | Orientación del elipsoide respecto la horizontal en el diagrama $a^*b^*$         |

**Tabla 1:** Descripción de las variables extraídas del análisis de imagen

Seguidamente se seleccionaron aleatoriamente 70 muestras (1/4 del total) y fueron reservadas para realizar una posterior validación externa de los modelos generados. La información geométrica y colorimétrica del resto de muestras (210 nueces) se utilizó, junto con la variedad y el estado de conservación de cada nuez, para obtener modelos de clasificación de nueces mediante análisis discriminante lineal. Estos análisis se desarrollaron partiendo de todas las variables o de los distintos grupos de variables obtenidos (geométricas, colorimétricas y elipsoides de color) (Tabla 2).

| Variable clasificatoria | Variables disponibles | Variables utilizadas | Clasificación correcta (%) |                    |
|-------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------|--------------------|
|                         |                       |                      | Validación interna         | Validación externa |
| Variedad                | Geométricas (15)      | 5                    | 68.1                       | 62.9               |
| Estado de conservación  | Geométricas (15)      | 13                   | 65.2                       | 67.1               |
| Variedad                | Colorimétricas (66)   | 13                   | 80.5                       | 77.1               |
| Estado de conservación  | Colorimétricas (66)   | 8                    | 100.0                      | 100.0              |
| Variedad                | Elipsoides (24)       | 11                   | 63.8                       | 62.9               |
| Estado de conservación  | Elipsoides (24)       | 4                    | 97.1                       | 97.1               |
| Variedad                | Todas (105)           | 19                   | 87.5                       | 75.7               |
| Estado de conservación  | Todas (105)           | 10                   | 100.0                      | 100.0              |

**Tabla 2:** Resultados de los análisis discriminantes lineales realizados

En cuanto a la discriminación varietal, se obtiene un resultado del 75.7% de las muestras correctamente clasificadas si se introducen en el análisis todas las variables disponibles. Sin embargo, este resultado es incluso superado si solo se tienen en cuenta las variables colorimétricas (77.1% de clasificación correcta en validación externa). Estos resultados son comparables a los obtenidos con análisis de imagen hiperespectral en el infrarrojo cercano con un set de muestras muy similar al utilizado en el presente estudio, 80% de muestras correctamente clasificadas[9]. Además, Ercisli y col.[10] también obtuvieron resultados similares al utilizar el análisis de imagen digital para obtener las características geométricas de nueces de diferentes variedades y usarlas para su clasificación.

Un resultado aún más interesante se obtiene para la discriminación entre muestras con y sin desperfectos. Aunque las características geométricas de la cáscara de las nueces no tienen necesariamente una gran relación con su estado de conservación, el color exterior de la nuez sí permite discriminar perfectamente entre nueces sanas y nueces con desperfectos. Con solo 8 variables colorimétricas se

consigue una discriminación del 100% en validación interna y externa. Este resultado implica que el análisis de imagen es una técnica muy prometedora para la identificación de desperfectos en nueces. Además, dado que las variables que consiguen un mejor resultado son las variables colorimétricas, es posible plantear la utilización de dispositivos más simples, como un espectrocolorímetro, para, en un futuro, avanzar hacia el uso en planta de sensores ópticos que permitan la identificación de nueces defectuosas.

### **Bibliografía**

- [1] D. Hayes, M. J. Angove, J. Tucci *et al.*, “Walnuts (*Juglans regia*) Chemical Composition and Research in Human Health”, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 56(8), p. 1231 (2016).
- [2] International Nut and Dried Fruit Council (INC), [Nut and dried fruit statistical yearbook], Reus (Spain) (2021).
- [3] BEDCA, [Base de Datos Española de Composición de Alimentos] Ministerio de Ciencia e Innovación, (2021).
- [4] FAO, [Cultivos y productos de ganadería], Rome, Italy (2020).
- [5] A. López, M. T. Pique, A. Romero *et al.*, “Influence of cold-storage conditions on the quality of unshelled walnuts”, *Int J. Refrig.*, 18(8), p. 544 (1995).
- [6] J. S. Amaral, S. Casal, J. A. Pereira *et al.*, “Determination of Sterol and Fatty Acid Compositions, Oxidative Stability, and Nutritional Value of Six Walnut (*Juglans regia* L.) Cultivars Grown in Portugal”, *J. Agric. Food. Chem.*, 51(26), p. 7698 (2003).
- [7] L. Guerrero, A. Romero, P. Gou *et al.*, “Perfil sensorial de diferentes muestras de nuez (*Juglans regia* L.) / Sensory profiles of different walnuts (*Juglans regia* L.)”, *Food Sci. Technol. Int.*, 6(3), p. 207 (2000).
- [8] F. J. Rodríguez-Pulido, B. Gordillo, M. Lourdes González-Miret *et al.*, “Analysis of food appearance properties by computer vision applying ellipsoids to colour data”, *Comput. Electron. Agric.*, 99, p. 108 (2013).
- [9] J. Nogales-Bueno, L. Feliz, B. Baca-Bocanegra *et al.*, “Comparative study on the use of three different near infrared spectroscopy recording methodologies for varietal discrimination of walnuts”, *Talanta*, 206, p. 120189 (2020).
- [10] S. Ercisli, B. Sayinci, M. Kara *et al.*, “Determination of size and shape features of walnut (*Juglans regia* L.) cultivars using image processing”, *Sci. Hortic.*, 133, p. 47 (2012).

# Numero de colores relevantes que describen el contenido cromático de las escenas naturales

Juan Ojeda<sup>1\*</sup>, Ramón Fernández Gualda<sup>1</sup>, Javier Romero<sup>1</sup>, Juan Luis Nieves<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Óptica, Campus Fuentenueva, Universidad de Granada, 18071-Granada*

<https://colorimaginglab.ugr.es/>

**Resumen:** La diversidad cromática de una escena natural se ha encontrado previamente que está caracterizada por varios miles de colores discernibles [1]. Sin embargo, cuando dicha diversidad se analiza en términos de los colores relevantes que describen una obra pictórica, dicho número es mucho menor. En un estudio anterior [2] demostramos cómo utilizando un promedio de sólo 18 colores se podía describir la paleta de colores discernibles y relevantes para un conjunto de cuadros, solamente basándose en el contenido colorimétrico de los mismos. En este trabajo vamos a ampliar este estudio computacional de cálculo de colores relevantes pero con escenas naturales. Los resultados preliminares muestran que los colores relevantes obtenidos en dos conjuntos de imágenes naturales distintos son semejantes entre sí y también respecto a los ya mencionados obtenidos con obras pictóricas.

## 1. Introducción.

La diversidad cromática de una imagen suele venir cuantificada por el número de colores discernibles (NDC) como el número de cubos unidad distinguibles en un espacio de color que contienen al menos un píxel [3] [4]. Su estimación es un problema clásico y se considera que hay alrededor de 2 millones de colores bajo iluminación luz-día tipo D65 [5]. No obstante, se ha encontrado que este número se reduce fuertemente, entre 2 y 3 órdenes de magnitud, cuando se ha empleado el método de Linhares et al [1].

Está claro que cuando un observador examina una determinada imagen, las características visuales de bajo nivel de ciertas áreas de la misma, llamadas regiones salientes, atraen su atención [6]. Partiendo de esta hipótesis un observador será capaz de determinar sólo el NDC de los píxeles de estas áreas. Es este número el que Nieves y Romero [7] llamaron número de colores discernibles salientes al estudiar heurísticamente los efectos de la saliencia visual en la estimación del número de colores discernibles en escenas naturales utilizando distintos modelos de saliencia. En su trabajo obtuvieron para todos los modelos una reducción superior al 40%, al considerar solo los colores discernibles salientes frente al NDC obtenidos de la imagen al completo si no hubiéramos tenido en cuenta las regiones salientes. Esta aproximación heurística la utilizaron también para analizar los colores que atraerían naturalmente la atención de los observadores, así como para crear imágenes segmentadas automáticamente en función de dicha diversidad cromática. Se obtuvo un número reducido de colores salientes (entre 17 y 25) y una buena segmentación de las imágenes basada en sus colores salientes, a pesar de la complejidad del contenido espacio-cromática de las mismas y de los posibles errores cualitativos producidos por luces intensas o sombras en la escena original.

Posteriormente, en una propuesta en la que no es necesario introducir categorías de color predefinidas ni determinar que áreas son visualmente salientes en la escena, Nieves et al. [2] establecen basándose en el contenido colorimétrico de cada imagen el concepto novedoso de colores relevantes, definido como los colores discernibles categóricos que describen la diversidad cromática de una obra pictórica. En dicha propuesta un algoritmo computacional, que simulaba el proceso top-down en el que un observador miraría a aquellas zonas que son más relevantes tanto por ser colorimétricamente discernibles como por describir la diversidad cromática de la escena, se aplicó a miles de pinturas de diferentes pintores y estilos [8] lo que permitió estimar una paleta de colores fiable para cada una de ellas. El número de colores relevantes (NRC) medio para todos los cuadros que analizaron fue de 18.

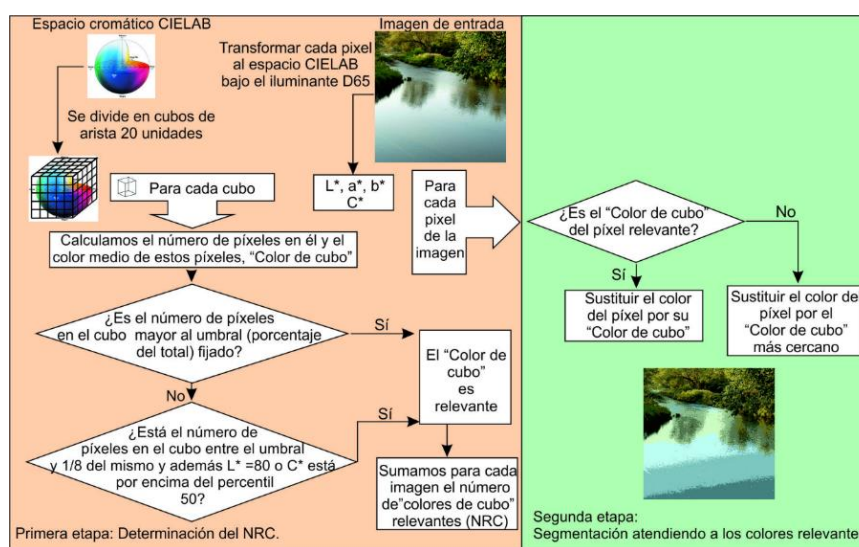
En este trabajo se amplía el estudio del cálculo de colores relevantes de imágenes en color aplicando el algoritmo computacional de Nieves et al. [2] pero utilizando imágenes de escenas naturales.

\* e-mail: [jojog@hotmail.com](mailto:jojog@hotmail.com)

## 2. Método

En el presente trabajo se han usado dos conjuntos de imágenes. Una primera colección de 600 imágenes en color procedentes de la base de datos Scene UNDERstanding (SUN) [9] del MIT clasificadas en doce categorías semánticas (de 50 imágenes cada una) dependiendo del contenido de las imágenes: bosques y parques, campos, costas, flores y frutas, montañas, playas, ríos y cascadas (agrupadas como imágenes de entornos naturales), autopistas, ciudades, edificios, interiores y calles (agrupadas como imágenes de entornos humanos). Y en segundo lugar, otra colección de imágenes calibradas de la base de datos de McGill [10], que contiene 5 categorías semánticas: orillas, flores, follaje y frutas (con 25, 109, 110 y 39 imágenes respectivamente) y que agruparemos como imágenes de entornos naturales, y una categoría de entornos humanos formada por 210 escenas.

En la figura 1 se representa una visión esquemática de las etapas de cálculo del algoritmo propuesto por Nieves et al. [2]. Vamos a aplicar dicho algoritmo para los dos conjuntos de imágenes, desarrollando el cálculo en dos etapas: la primera consiste en la determinación de los colores relevantes y su número, y la segunda etapa consistente en la segmentación de la imagen en función de sus colores relevantes.



**Figura 1:** Esquema del algoritmo del cálculo del número de colores relevantes (NRC) propuesto por Nieves et al. [2] y que se aplica aquí para su determinación con cada una de las imágenes naturales.

En la primera etapa (figura 1, izquierda), una vez transformadas las componentes RGB de cada píxel de cada imagen al espacio CIELAB, la categorización de los colores discernibles se realizó mediante cuatro parámetros: (1) el tamaño del cubo en el cual se divide el espacio CIELAB, que se estableció en 20 unidades de arista, (2) un porcentaje (o umbral general) mínimo del total de píxeles en un cubo para considerarlo relevante, que se estableció en el 4% del número de píxeles totales, (3) para tener en cuenta que los colores más saturados pueden actuar como predictores de cómo un observador categorizaría la distribución de color de objetos naturales [11], se consideraron como colores relevantes también los que correspondían a aquellos cubos que teniendo menos del 4% de los píxeles totales mostraban valores de  $L^*$  superiores a 80, y (4) los valores de  $C^*$  definidos como

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

superiores al percentil 50 de la imagen. El número de cubos que para cada imagen cumplan estas condiciones es el número de colores relevantes, y el color de cada uno de los cubos los asociaremos al color de la "paleta" de colores cromáticamente relevantes en la correspondiente imagen.

En una segunda etapa (figura 1, derecha), el algoritmo permite también segmentar la imagen original de una manera sencilla sin más que comprobar para cada píxel de la misma si se corresponde con un color relevante. Si es ese el caso el color del píxel se sustituye por su correspondiente color relevante y, en caso

contrario, el color del píxel se sustituirá por el del cubo más cercano (utilizando un criterio de distancia euclídea) en el espacio CIELAB.

### 3. Resultados

La Tabla 1 muestra el número de colores relevantes obtenido para las distintas categorías de los dos conjuntos de imágenes descritos. Para el conjunto de imágenes SUN vemos que el NRC de las imágenes de entornos naturales, que es 15, es inferior al obtenido con el conjunto de imágenes de la base de datos de McGill, en la que este número coinciden para las dos categorías generales de este conjunto de imágenes. Esta coincidencia también se produce entre las escenas de entornos humanos de ambos conjuntos (19 colores relevantes).

| Imágenes SUN                        |        | Imágenes McGill |        |
|-------------------------------------|--------|-----------------|--------|
|                                     | NRC    |                 | NRC    |
| Bosques y parques                   | 15 ± 4 |                 |        |
| Campo                               | 10 ± 4 | Orillas         | 16 ± 7 |
| Costa                               | 15 ± 6 | Flores          | 19 ± 6 |
| Flores y frutas                     | 22 ± 6 | Follaje         | 20 ± 5 |
| Montaña                             | 15 ± 5 | Frutas          | 16 ± 7 |
| Playa                               | 10 ± 4 |                 |        |
| Ríos y cascadas                     | 15 ± 5 |                 |        |
| <i>Imágenes naturales</i>           | 15 ± 6 |                 | 19 ± 6 |
| Autopistas                          | 14 ± 5 |                 |        |
| Ciudades                            | 20 ± 4 |                 |        |
| Edificios                           | 18 ± 5 |                 |        |
| Interiores                          | 19 ± 5 |                 |        |
| Calles                              | 22 ± 5 |                 |        |
| <i>Imágenes de entornos humanos</i> | 19 ± 6 |                 | 19 ± 5 |

**Tabla 1:** Número de Colores Relevantes (NRC) y promedios obtenidos para los distintos conjuntos de imágenes naturales y de entornos humanos.

Como ya se ha comentado en la sección anterior, la segunda parte del algoritmo permite la segmentación de la imagen original basándose en los colores relevantes obtenidos mediante el algoritmo, un ejemplo del cual se puede ver en la figura 2.



**Figura 2:** Ejemplo de una imagen y su segmentación basándose en los colores relevantes obtenidos mediante el algoritmo.

Para cuantificar el grado de fidelidad con el que podemos recuperar la imagen original a partir de la segmentación, calculamos el coeficiente de correlación entre cada plano de color del espacio cromático RGB de la imagen original y de la imagen segmentada. Los valores medios obtenidos para cada categoría se muestran en la Tabla 2. Aunque los resultados de la Tabla 2 no sugieren una recuperación perfecta de la

imagen original (algo esperable pues el algoritmo de colores relevante no busca una segmentación perfecta) sí podemos considerar que las imágenes segmentadas mantienen el contenido cromático más reseñable de las escenas de entornos naturales o de entornos humanos.

|                                | Imágenes SUN |           |           | Imágenes McGill |           |           |
|--------------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------------|-----------|-----------|
|                                | <i>R</i>     | <i>G</i>  | <i>B</i>  | <i>R</i>        | <i>G</i>  | <i>B</i>  |
| Imágenes de entornos naturales | 0,88±0,11    | 0,91±0,09 | 0,88±0,11 | 0,88±0,20       | 0,88±0,20 | 0,84±0,21 |
| Imágenes de entornos humanos   | 0,91±0,07    | 0,94±0,05 | 0,92±0,05 | 0,93±0,07       | 0,95±0,06 | 0,94±0,07 |

**Tabla 2 :** Coeficientes de correlación, para cada plano del espacio RGB, entre las imágenes originales y las imágenes segmentadas de los dos conjuntos de imágenes.

#### 4. Conclusiones.

La aplicación del algoritmo del cálculo de colores relevantes a diferentes conjuntos de escenas naturales proporciona un pequeño número de colores (entre 15 y 19 colores para las distintas categorías generales). El número medio obtenido es prácticamente el mismo que obtuvieron Nieves et al [2] para las obras pictóricas, y que fue de  $18 \pm 6$ .

Al analizar el grado de “recuperación” de la imagen original que se obtiene mediante su segmentación por colores relevantes, el coeficiente de correlación para cada plano de color del espacio cromático RGB entre la imagen original y la imagen segmentada, presenta valores con menor dispersión en las imágenes de entornos humanos que con las imágenes de entornos naturales. Estos resultados de entornos no naturales, aunque presentando una mayor dispersión, son parecidos a los obtenidos por Nieves et al. [12] para obras pictóricas (de  $0.94 \pm 0,006$  para las imágenes del museo del Prado y  $0,96 \pm 0,002$  para las imágenes de la base de datos de Khan).

**Agradecimientos:** trabajo financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación y Universidades (MICINN, RTI2018-094738-B-100), y por la Junta de Andalucía (proyecto A-TIC-050-UGR18), ambos financiados por fondos FEDER.

#### Bibliografía

- [1] J.M. Linhares, P.D. Pinto, S. M. Nascimento, “The number of discernible colors in natural scenes”, *J Opt Soc Am A* 25:2918–2924 (2008).
- [2] J. L. Nieves, L. Gomez-Robledo, Yu-Jung Chen, J. Romero, ”Computing the relevant colors that describe the color palette of paintings”, *Applied Optics* Vol. 59, 1732-1740 (2020).
- [3] M. R. Pointer, G. G. Attridge, “The number of discernible colours”, *Color Res. Appl.* 23, 52–54 (1998).
- [4] F. Martínez-Verdu, E. Perales, E. Chorro, D. de Fez, V. Viqueira, E. Gilabert, “Computation and visualization of the MacAdam limits for any lightness, hue angle, and light source”, *J. Opt. Soc. Am. A* 24, 1501–1515 (2007).
- [5] K. Masaoka, R. S. Berns, M. D. Fairchild, F. M. Abed, “Number of discernible object colors is a conundrum”, *J. Opt. Soc. Am. A* 30, 264–277 (2013).
- [6] L. Itti, C. Koch, “A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention”, *Vision Res* 40: 1489–1506 (2000).
- [7] J.L. Nieves, J. Romero, “Heuristic analysis influence of saliency in the color diversity of natural images”, *Color Res Appl.* 2018;1–13. (2018)
- [8] F. S. Khan, S. Beigpour, J. van de Weijer, M. Felsberg, “Painting-91: A large scale database for computational painting categorization”, *Mach. Vis. Appl.* 25, 1385– 1397 (2014)
- [9] J. Xiao, J. Hays, K. Ehinger, A. Oliva, A. Torralba, “SUN database: large-scale scene recognition from Abbey to Zoo”, in *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (2010).
- [10] A. Olmos, F. A. A. Kingdom. “A biologically inspired algorithm for the recovery of shading and reflectance images”, *Perception*, 33, 1463 - 1473 (2004).
- [11] Z. Milojevic, R. Ennis, M. Toscani, K. R. Gegenfurtner, “Categorizing natural color distributions”, *Vis. Res.* 151, 18–30 (2018).
- [12] J.L. Nieves, J. Ojeda, L. Gómez-Robledo, J. Romero, “Psychophysical Determination of the Relevant Colours That Describe the Colour Palette of Paintings”, *J. Imaging*, 7, 72. (2021)

# Validación de un Test de daltonismo en 3D y Realidad Virtual

Halina Cwierz<sup>1\*</sup>, Francisco Díaz-Barrancas<sup>1</sup>, Julia Gil Llinás<sup>2</sup> y Pedro J. Pardo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Ingeniería de Sistemas Informáticos y Telemáticos, Universidad de Extremadura, Centro Universitario de Mérida, C/Santa Teresa de Jornet 38, Mérida E06800, España*

<sup>2</sup>*Departamento de Física, Universidad de Extremadura, Facultad de Ciencias, Avda. de Elvas s/n, Badajoz E06071, España*

<http://grupoorion.unex.es>

**Resumen:** El avance tecnológico que se ha producido en los últimos 10 años está permitiendo de forma progresiva que la información digital se pueda mostrar en 3D y visualizar mediante gafas de Realidad Virtual (RV). Al igual que la tecnología avanza y se adapta, las pruebas para detectar deficiencias visuales del color también se van adecuando a las nuevas tecnologías. Esta adecuación, no debería ser un mero copiar y pegar determinadas láminas o intentar simular cápsulas de colores, que se presentarán al usuario en una aplicación móvil, o una página web, deberían tener una validación científica. Con esta premisa, se presenta la validación de una adaptación virtual del test de Farnsworth-Munsell 100-Hue, elaborado por los autores, que ha demostrado ser equivalente en la función de calificar y clasificar a los observadores.

## 1. Introducción

Desde la aparición de la World Wide Web, aproximadamente en los 90, hasta la actualidad, el cambio que se ha producido tanto en la apariencia que presentan las páginas web actuales, en algunos casos 3D con opción de usar determinados visores de RV, como en los algoritmos de búsqueda que utilizan los navegadores para ofrecer información relevante en fracciones de segundo, se podría decir que ha dado un giro de 360°. Si nos centramos en la accesibilidad y usabilidad de la información y la comunicación, según el Banco Mundial [1], más del 15% de la población mundial tiene algún tipo de discapacidad, entre las que se incluyen las discapacidades visuales que pueden inhibir la habilidad de ver claramente o percibir contrastes de color. Para paliar las dificultades que pueden presentar las personas que sufren alguna discapacidad en el acceso a la información en la web, el comité World Wide Web Consortium (W3C), publica pautas de accesibilidad al contenido web (WCAG) 2.0 [2], entre las que se encuentran diferentes alternativas para las personas que presentan alguna deficiencia visual. Este hecho, nos hizo plantearnos la creación de un test de detección de daltonismo en 3D utilizando un visor de RV y los controladores asociados al visor [3].

Desde la aparición de las primeras pruebas para detectar el daltonismo [4], hasta nuestros días, han surgido distintas variantes y distintos formatos de las pruebas, cuyo objetivo es la detección de deficiencias visuales del color. Diferentes estudios han revisado el uso de test de daltonismo incluyendo test que se pueden realizar en la web, llegando a la conclusión de que dichas simulaciones web pueden ser útiles como orientación, pero que no tienen validez debido a que las muestras que se presentan difieren de los test reales tanto en número como en color [5][6]. Además, un test de daltonismo se debe realizar con unas determinadas condiciones de iluminación (según fabricante), que, en la mayoría de los casos, los observadores no tienen en cuenta cuando lo realizan en un PC o en sus dispositivos móviles. Tanto las condiciones de iluminación como el color que ofrecen las muestras de un test de daltonismo pueden controlarse en una simulación en RV, al aislar totalmente al observador del mundo exterior.

En concreto, en este artículo, se presenta la validación de una adaptación virtual del test Farnsworth-Munsell 100-Hue (FM 100 real) en 3D en un entorno virtual, a partir de los datos proporcionados por 20 observadores, de los cuales, 3 presentan deficiencias en la visión del color.

## 2. Metodología

\* e-mail: hccwierz@unex.es

Anteriormente a este trabajo, los autores han desarrollado una herramienta que permite evaluar la capacidad de discriminación del color en observadores normales y defectivos en un entorno de RV en términos similares al test FM 100 real [3]. Para la validación del test FM 100 en un entorno virtual (FM 100 virtual), en primer lugar, se ha realizado la caracterización cromática del visor HTC Vive, que se debe utilizar para realizar dicho test y se han medido, mediante un espectrorradiómetro de la marca Konica-Minolta CS-2000 en una cabina LED Just NormLicht, las reflectancias de las distintas cápsulas que componen dicho test, el material de la cabina y la fuente de iluminación D65.

Con las medidas obtenidas y usando como plataforma de RV el motor de videojuego Unity Engine (versión 2019.1.5) y un Sistema de Gestión del Color [7], se ha construido un escenario virtual simulando el test FM 100 real. Para validar el test FM 100 virtual, la muestra poblacional estuvo compuesta por un total de 20 observadores (14 hombres y 6 mujeres) con edades comprendidas entre los 20 y los 59 años, con una media de  $37 \pm 15$ . De la muestra, 17 personas se calificaron a sí mismas como observadores normales y se comprobó que tenían una correcta visión del color con el test de Ishihara. Tres de ellos demostraron anomalías en la visión del color comprobándose mediante el test de Ishihara y el test D-15.

Cada observación consistía en ordenar “correctamente” las 85 fichas de colores cuyas tonalidades presentan una pequeña variación del mismo matiz. Cada observador repitió la prueba cinco veces en diferentes sesiones. La prueba se dividió en dos partes: una corresponde a la igualación de las fichas del test FM 100 real y otra a la igualación de las fichas del test FM 100 virtual. Todas las sesiones se llevaron a cabo en diferentes días y entre cada parte de la prueba se daba un descanso de 10 minutos. El orden de presentación de las líneas de fichas se fue variando de forma aleatoria para minimizar el efecto de aprendizaje [8]. La metodología empleada con el test FM 100 real sigue las recomendaciones del autor [9] (Fig.1 izquierda).



**Figura 1.** Izda. Ejemplo de un observador realizando el test FM 100 real. Dcha. Ejemplo de un observador realizando el test FM 100 virtual.

La metodología aplicada en el test FM 100 virtual sigue esta secuencia:

1. Todas las muestras de color de las 4 filas, ordenadas correctamente, se muestran al observador y al pulsar la tecla indicada se pasa al siguiente punto (Fig.1 derecha).
2. Se muestran las cápsulas de una sola fila desordenadas aleatoriamente, dejando la primera y última cápsula en una posición fija de la misma manera que se realiza en la prueba real.
3. El observador debe colocar todas las muestras en el orden que considere correcto, para ello dispone del controlador o mando de HTC Vive que simula un guante virtual. Los observadores pueden modificar la posición asignada a cada muestra tantas veces como consideren necesario.
4. Se realiza la misma operación de colocar las cápsulas con las 3 filas restantes.
5. Una vez terminada la prueba, se muestra la puntuación obtenida y el tiempo empleado.

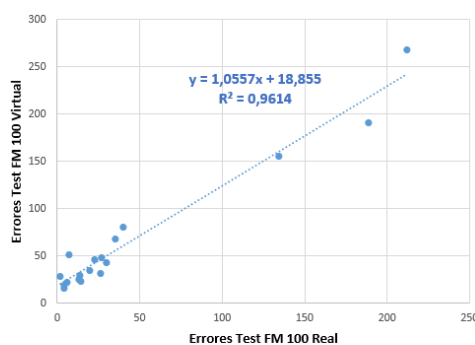
Los resultados obtenidos tanto para el test FM 100 real como para FM 100 virtual de cada observador se han volcado en una hoja Excel para poder realizar posteriormente el análisis de datos con el paquete estadístico IBM-SPSS Statistics-20 [10].

La validación del test FM 100 virtual tiene la finalidad de conseguir la comparabilidad de la información, para ello es necesario corroborar que el test utilizado sea válido, reproducible y fiable [11]. Del análisis psicométrico realizado, se mencionan algunos de los resultados más significativos. Por ejemplo, se ha constatado la fiabilidad que indica la condición del test FM100 virtual de ser capaz de ofrecer en su empleo repetido resultados veraces y constantes en condiciones similares de medición. Cuando todos los ítems o variables son dicotómicos, el indicador para medir la fiabilidad es el conocido KR-20,

coeficiente de Kuder-Richardson [12]. El valor mínimo aceptado para este coeficiente es de 0,70. Para este análisis se han utilizado los resultados de la tercera repetición, debido a que se ha observado una gran variabilidad entre los resultados de la primera observación y las siguientes, debido principalmente a la inexperiencia de los participantes tanto en ordenar tonalidades como en trabajar en un entorno virtual. Por otra parte, en los resultados de la primera prueba aparecieron valores extremos lo que llevó a eliminar algún caso. El coeficiente de fiabilidad que se ha obtenido es  $KR-20 = 0,862$ , lo que indica que el grado de homogeneidad entre los ítems es bastante aceptable. Además, se ha calculado este coeficiente para el caso del test FM 100 real, dando un resultado de 0,883, muy próximo al del FM 100 virtual para los mismos observadores.

Por otra parte, dado que cada una de las pruebas se repitió 5 veces, se ha realizado la comparación con el promedio de las puntuaciones obtenidas en las 5 sesiones. Para ello se han utilizado los datos de la variable “error cometido”, calculado como indica Dean Farnsworth en el manual de este test y las propuestas por Luque et al. del FM 100 real [9], [13]. En la Fig. 2 izquierda, en la tabla se muestran los resultados obtenidos por los 17 observadores previamente clasificados como observadores normales y los 3 observadores clasificados como anómalos.

| Observador                                 | Edad | Sexo   | Test Real | Test Virtual |
|--------------------------------------------|------|--------|-----------|--------------|
| Normal 1                                   | 55   | Mujer  | 35,2      | 68,0         |
| Normal 2                                   | 54   | Mujer  | 26,4      | 47,2         |
| Normal 3                                   | 56   | Mujer  | 19,2      | 34,4         |
| Normal 4                                   | 56   | Hombre | 29,6      | 43,2         |
| Normal 5                                   | 26   | Hombre | 4,0       | 19,2         |
| Normal 6                                   | 21   | Hombre | 13,0      | 25,6         |
| Normal 7                                   | 29   | Hombre | 5,6       | 21,6         |
| Normal 8                                   | 31   | Mujer  | 13,6      | 29,6         |
| Normal 9                                   | 26   | Hombre | 4,0       | 16,0         |
| Normal 10                                  | 24   | Hombre | 40,0      | 80,0         |
| Normal 11                                  | 45   | Hombre | 14,0      | 23,2         |
| Normal 12                                  | 26   | Mujer  | 7,2       | 51,2         |
| Normal 13                                  | 27   | Mujer  | 1,6       | 28,5         |
| Normal 14                                  | 56   | Hombre | 26,0      | 32,0         |
| Normal 15                                  | 56   | Hombre | 22,0      | 46,0         |
| Normal 16                                  | 26   | Hombre | 8,0       | 24,0         |
| Normal 17                                  | 25   | Hombre | 16,0      | 52,0         |
| Defectivo 1                                | 59   | Hombre | 189,0     | 191,0        |
| Defectivo 2                                | 19   | Hombre | 133,6     | 155,0        |
| Defectivo 3                                | 25   | Hombre | 212,0     | 268,0        |
| Media (defectivos excluidos)               |      |        | 16,8      | 37,7         |
| Desviación Estándar (defectivos excluidos) |      |        | 11,6      | 17,8         |
| Límite superior para normales              |      |        | 51,5      | 91,3         |
| Coefficiente de Pearson                    |      |        |           | 0,98         |



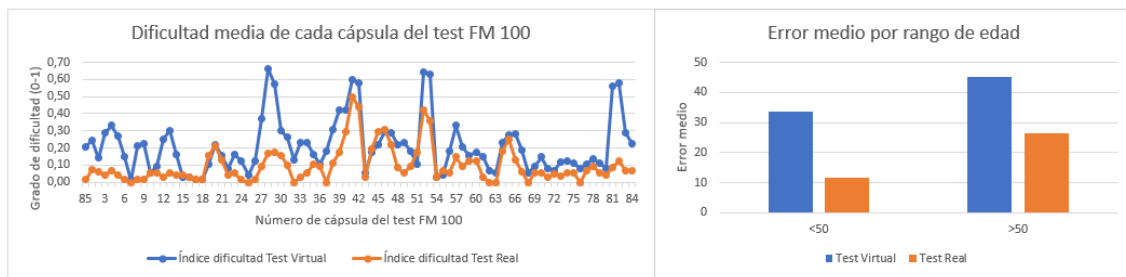
**Figura2.** Izda. Resultados obtenidos por los 20 observadores en ambos test. Dcha. Gráfico que relaciona los errores cometidos en el test FM 100 real y virtual.

Un primer análisis de estos datos muestra una alta correlación entre la variable error cometido correspondientes al test FM 100 real y al FM 100 virtual (coeficiente de Pearson = 0,98, nivel de confianza = 99%,  $p < 0,001$ ). Además, la relación entre ambas puntuaciones es muy lineal ( $R^2 = 0,96$ , nivel de confianza = 99%, valor  $p < 0,001$ ) con un valor de pendiente muy cercano a 1 (Fig. 2 derecha).

### 3. Resultados y conclusiones

Casi todos los observadores que han realizado las pruebas han sugerido que hay determinadas cápsulas cuyas diferencias de tonalidad les ha parecido casi imperceptibles, este hecho coincide con los resultados obtenidos por García Romera et al. en su artículo “Uniformidad del test ‘Farnsworth-Munsell 100-Hue’” [14]. En este artículo indican que en el test FM 100 real, “la diferencia colorimétrica entre fichas consecutivas no permanece constante, lo que provoca que, independientemente de la capacidad de discriminación cromática del observador, unas fichas sean más fáciles de colocar que otras”.

Con respecto a los errores cometidos por los observadores al realizar ambos test, se ha observado que, aunque el test FM 100 virtual resulta algo más complicado de realizar como se puede ver en la Fig. 3 izquierda, las cápsulas con mayor porcentaje de error se encuentran en la zona delimitada entre las cápsulas 28 y 53, que se corresponden con los tonos verdes y azules. Este resultado coincide con el estudio realizado por Ezpeleta et al. del test FM 100 real con el iluminante D65, que observan una disminución de los fallos en la colocación de las fichas de la 16 a la 27 (<30%) y de la 58 a la 77 (<35%); y mayor porcentaje de error en las fichas 28 (71%) y 29 (74,2%) [15]. En la Fig. 3 derecha se puede observar que los errores cometidos por los observadores tanto en el test real como en el virtual se incrementan con la edad, la vista es uno de los sentidos más afectados por el envejecimiento y conlleva a una mayor dificultad para diferenciar los colores.



**Figura 3.** Izda. Dificultad media de cada cápsula del test FM 100 virtual y real. Dcha. Error medio obtenido según rango de edades (<50 años y >50 años) de los observadores en el test FM 100 virtual y real.

A la vista de los resultados anteriores, y de su validación, se puede concluir que la versión del test FM 100 implementada en un entorno de RV es equivalente a la versión real en su funcionalidad de calificar y clasificar de forma automática, a los observadores según su capacidad para discriminar colores.

### Bibliografía

- [1] World Bank, “World Bank World Report on Disability 2011,” *World Heal. Organ. World Bank, Am. Assoc. Disabil. United State Am.*, pp. 1–549, 2011.
- [2] W3C, “Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0,” Dec. 11, 2008. <https://www.w3.org/TR/WCAG20/#visually-customizeddef> (accessed Feb. 18, 2022).
- [3] H. Cwierz, F. Diaz-Barrancas, J. G. Llinas, and P. J. Pardo, “On the Validity of Virtual Reality Applications for Professional Use: A Case Study on Color Vision Research and Diagnosis,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 138215–138224, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3118438.
- [4] A. Seebeck, “Ueber den bei manchen Personen vorkommenden Mangel an Farbensinn,” *Ann. Phys.*, vol. 118, no. 10, pp. 177–233, Jan. 1837, doi: 10.1002/ANDP.18371181002.
- [5] R. M. Arco, “TFM: Análisis de la visión del color: tests digitales versus tests tradicionales,” Tarrasa, Jun. 2019. Accessed: Jan. 05, 2022. [Online]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/184363/rosa.maria.arco - TFM ROSA MARIA ARCO 5.pdf>.
- [6] A. F. Zarazaga, J. G. Vázquez, and V. P. Royo, “Revisión de los principales test clínicos para evaluar la visión del color,” *Rev. main colour Vis. Clin. Assess. tests*, vol. 94, no. 1, pp. 25–32, 2019, doi: 10.1016/j.oftal.2018.08.006.
- [7] M. Maria, “Little CMS,” vol. 2021, no. Apr 6., 1998, [Online]. Available: <https://www.littlecms.com/>.
- [8] L. Rong, L. Danxi, T. Ding, C. Y. Yiu, C. Dongning, and W. Zhaoping, “The training effect of Chinese medicine inspection using color vision test,” in *Proceedings - 2014 International Conference on Medical Biometrics, ICMB 2014*, 2014, pp. 32–34, doi: 10.1109/ICMB.2014.13.
- [9] D. Farnsworth, “The Farnsworth-Munsell 100-Hue and Dichotomous Tests for Color Vision,” *J. Opt. Soc. Am.*, vol. 33, no. 10, p. 568, Oct. 1943, doi: 10.1364/JOSA.33.000568.
- [10] Z. Čaplová and P. Švábová, “IBM SPSS statistics,” in *Statistics and Probability in Forensic Anthropology*, 2020.
- [11] M. C. Martín Arribas, “Diseño y validación de cuestionarios,” *Matronas profesión*, vol. 5, no. 17, pp. 23–29, 2004, [Online]. Available: <https://www.federacion-matronas.org/wp-content/uploads/2018/01/vol5n17pag23-29.pdf>.
- [12] G. Kuder and M. Richardson, “The theory of the estimation of test reliability,” *Psychometrika*, vol. 2, no. 3, pp. 151–160, 1937, doi: 10.1007/BF02288391.
- [13] M. J. Luque, M. D. de Fez, and M. A. Diez, “Directrices para la administración y puntuación del test Farnsworth-Munsell de 100 tonos,” *Ver y Oír*, vol. 157, pp. 413–420, 2001, [Online]. Available: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/18427/1/fm100.pdf>.
- [14] M. García-Romera, M. Grosman, M. Sánchez-Marañón, L. Gómez-Robledo, and M. Melgosa, “On the uniformity of the ‘Farnsworth-Munsell 100-Hue’ test,” *Opt. Pura y Apl.*, vol. 44, no. 1, p. 139, 2011.
- [15] S. Ezpeleta, S. Aznar, C. Corbacho, A. Sánchez-Cano, and J. Aporta, “Illumination sources, optic filters, and their influence in the Farnsworth Munsell 100 Hue color test,” *Opt. Pura y Apl.*, vol. 51, no. 2, pp. 1–11, 2018, doi: 10.7149/OPA.51.2.5009.

## Determinación de quinina en tónicas mediante tratamiento de imagen

Kevin U. Antela<sup>1\*</sup>, Alba Ochoa Ballesteros<sup>1</sup>, Roberto Sáez Hernández<sup>1</sup>, M. Luisa Cervera<sup>1</sup>,  
Agustín Pastor García<sup>1</sup>, María José Luque<sup>2</sup> y Ángel Morales Rubio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Química Analítica, Edificio de Investigación, Universidad de Valencia. Carrer del Dr. Moliner, 50, 46100 Burjassot, Valencia (España)*

<sup>2</sup>*Departamento de Óptica, Facultad de Física, Universidad de Valencia. Carrer del Dr. Moliner, 50, 46100 Burjassot, Valencia (España)*

<https://sites.google.com/view/solinsmartphone/home>

**Resumen:** En este trabajo se ha desarrollado un método para cuantificar quinina mediante fluorescencia con Smartphone. El procedimiento implica solo la necesidad de una linterna de luz ultravioleta (396 nm), una caja de porexpán, una cubierta plástica con recubrimiento interno de terciopelo negro y un Smartphone. El método proporciona un límite de detección (LOD) de 0.75 mg/L y un límite de cuantificación (LOQ) de 2.50 mg/L. La aplicabilidad del tratamiento de imagen en muestras comerciales de tónica para cuantificar quinina ha proporcionado resultados comparables a los obtenidos con el método de referencia empleando un fluorímetro. En el caso del análisis por Smartphone de las muestras de tónica es necesario realizar un análisis por adición de patrón. Para asegurar la fiabilidad de las medidas, se ha caracterizado la cámara mediante una carta de color y un espectrorradiómetro, con el que se ha también evaluado la estabilidad de la luz de la linterna.

### 1. Introducción

El clorhidrato o sulfato de quinina es un alcaloide obtenido de la corteza de árboles de especies tropicales [1]. Este compuesto se puede encontrar en especies de la familia de las rubiáceas en concentraciones en torno al 1-2 % junto con otros alcaloides relacionados [1]. Este compuesto tiene propiedades antipalúdicas demostradas, pero se ha utilizado en la industria cosmética y como agente aromatizante en bebidas [1,2].

Entre los métodos de determinación de quinina se pueden encontrar la cromatografía líquida, la cromatografía de gases, la electroforesis capilar, la espectrometría de masas, la espectrometría atómica y la fluorimetría [3]. Este último método proporciona la medida en forma de señal lumínica. Las señales de luz y/o color pueden ser captados por otros dispositivos que permitan captar imágenes, como el Smartphone [2,4].

El objetivo de este trabajo es el desarrollo de un método de determinación fluorimétrica, utilizando un Smartphone como sensor. Para ello se ha empleado la quinina como analito, y se han realizado estudios de estabilidad de la luz y de condiciones para la correcta medida colorimétrica. Finalmente, el método desarrollado se ha comparado con el empleo de un fluorímetro como método de referencia.

### 2. Materiales y métodos

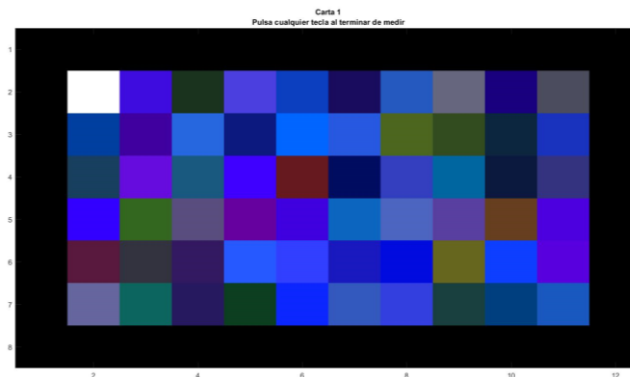
Se ha empleado sulfato de quinina dihidratado (Guinama, Valencia, España) y ácido sulfúrico 95-97% (Scharlau, Sentmenat, España) para preparar los patrones y diluir las muestras.

La instrumentación de referencia era un espectrofluorímetro FP-6200 (Jasco, Japón). Para la captura de imágenes, se ha empleado un Samsung Galaxy S/ Edge Model SM-G935F con una cámara de 12.2 MP, una linterna con 9 LEDs ultravioleta con pico de emisión a 396 nm y una caja de porexpán de 20x27x28 cm de dimensiones externas y 12x19x24 cm de dimensiones internas. Para caracterizar colorimétricamente la cámara del teléfono se ha empleado un espectrorradiómetro SpectraScan® PR655 Photo Research® (EE.UU).

\* e-mail: kevin.urbanou@uv.es

### Caracterización de la cámara

Para caracterizar colorimétricamente la cámara del Smartphone se ha generado en Matlab un conjunto de 120 estímulos auto luminosos en la pantalla de un portátil, cubriendo la gama de colores en la que se produce la fluorescencia y regiones cercanas e incluyendo el blanco y el negro (en el fondo de la carta). Los estímulos se presentaron en dos cartas, organizados en una matriz regular de 6x10. La Fig. 1 muestra una de las cartas de color empleadas para la caracterización de la cámara. La única iluminación presente durante las medidas era la procedente de las cartas. Para la toma de la fotografía de las cartas se ha empleado el modo profesional de la cámara del Smartphone. Las condiciones empleadas fueron ISO de 125, 1/F de 1/45, temperatura de 5900 K y zoom de 1.2



**Figura 1:** Carta de color empleada para la caracterización del teléfono.

Los valores XYZ de la carta han sido medidos con el espectrorradiómetro. La relación entre los valores RGB de las imágenes de las cartas capturadas por el smartphone y los valores triestímulo se ha modelizado mediante un polinomio de grado 5, para minimizar la diferencia de color CIELAB entre los descriptores medidos por las muestras y los predichos por el modelo [5]

### Muestras

Se tomaron 5 muestras de tónicas de diferentes marcas que especificaban en el etiquetado tener cierto contenido de quinina. Las muestras se prepararon por dilución en medio sulfúrico 0.5 M previa desgasificación.

### Determinación por espectrofluorimetría

Las muestras se midieron empleando una cubeta de cuarzo de 10 mm de paso óptico. Las condiciones de medida fueron anchos de banda de excitación y de emisión de 5 nm, sensibilidad media, longitud de onda de excitación 349 nm y longitud de onda de emisión 450 nm.

### Determinación por Smartphone

Las muestras preparadas se depositaron en viales de 10 mL y se colocaron a 25 cm de la cámara. Los viales se colocaron sobre la linterna, con un difusor en medio para homogeneizar la luz. Las fotografías fueron tomadas con el modo profesional de la cámara empleando las mismas condiciones indicadas en el apartado de caracterización de la cámara. La Fig. 2 muestra la disposición de la cabina y el Smartphone para cuantificar la quinina mediante este procedimiento.



**Figura 2:** Disposición para la medida de fluorescencia mediante Smartphone.

### 3. Resultados y discusión

#### Estabilidad de la disolución de quinina

Para evaluar cuanto tiempo se podía utilizar una disolución de quinina sin que se degradara se preparó un calibrado entre 0.5 y 5 mg/L de quinina y se midió por espectrofluorimetría durante varios días. El patrón más concentrado saturaba el equipo, por lo que en las condiciones estudiadas el rango de trabajo se sitúa entre 0 y 4 mg/L de quinina. El calibrado preparado se midió durante dos semanas, todos los días (5 días), y posteriormente una tercera semana espaciando los días (lunes y jueves). El calibrado se midió un total de 12 días. La Tabla 1 muestra las pendientes de las regresiones lineales obtenidas para el calibrado preparado los diferentes días, así como la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación (C.V.).

| Día   | Pendiente | Día                 | Pendiente | Día      | Pendiente |
|-------|-----------|---------------------|-----------|----------|-----------|
| 1     | 240.46    | 5                   | 246.32    | 9        | 238.2     |
| 2     | 246.7     | 6                   | 246.2     | 10       | 239.94    |
| 3     | 247.74    | 7                   | 248.82    | 11       | 239.99    |
| 4     | 250.31    | 8                   | 241.64    | 12       | 245.32    |
| Media | 244       | Desviación estándar | 4         | C.V. (%) | 1.65      |

**Tabla 1:** Variación de la pendiente de la recta de calibrado durante diferentes días (12 días).

#### Estabilidad de la luz

Para evaluar la estabilidad de las medidas con la linterna, se han realizado medidas con el patrón más concentrado de quinina durante 30 minutos en tres días diferentes con sets de pilas nuevos. Al realizar esta comprobación se ha observado una estabilidad en el parámetro L\* del espacio de color CIELAB, proporcionando un valor de  $37 \pm 2$  (3 tandas de 30 minutos, 1 medida por minuto, 90 medidas).

#### Optimización de la toma de fotos

Para la toma de medidas con el Smartphone se han estudiado diferentes configuraciones para observar en cuál de todas se obtiene el calibrado más sensible y más estable. Debido a que trabajamos con luminosidad de la muestra fluorescente se ha empleado el parámetro L\* del espacio de color CIELAB, que, además, ha demostrado ser el más estable a lo largo del tiempo de medición bajo las mismas condiciones. Para tomar las medidas se estudiaron diferentes cubiertas para los viales para evitar problemas debidos a brillos o reflexiones internas. Los estudios se realizaron sin cubierta, con cubiertas con recubrimiento interno de fieltro negro o sin recubrimiento y con un agujero de salida en la cubierta o con dos agujeros de salida. La Tabla 2 muestra los datos obtenidos para calibrados con las diferentes cubiertas. Los resultados muestran que el mejor calibrado se obtiene empleando una cubierta con recubrimiento interno de fieltro y con dos agujeros. El método empleando este recubrimiento proporciona un LOD de 0.75 mg/L y un LOQ de 2.50 mg/L.

| Día                                    | Ecuación               | R <sup>2</sup> | Rango lineal (mg/L) |
|----------------------------------------|------------------------|----------------|---------------------|
| Sin cubierta                           | $y = 1.3607x + 3.4026$ | 0.9919         | 6-15                |
| Sin recubrimiento interno y 1 agujero  | $y = 1.8474x - 3.3884$ | 0.987          | 4-15                |
| Sin recubrimiento interno y 2 agujeros | $y = 1.6298x - 2.5976$ | 0.9888         | 4-15                |
| Con recubrimiento interno y 1 agujero  | $y = 1.3608x - 1.2417$ | 0.997          | 4-15                |
| Con recubrimiento interno y 2 agujeros | $y = 1.6542x - 3.3409$ | 0.9975         | 4-15                |

**Tabla 2:** Datos de las curvas de calibración para cada uno de los recubrimientos estudiados (x: concentración de quinina en mg/L; y: parámetro L\* del espacio de color CIELAB).

#### Medida de muestras reales

Una vez optimizada la toma de fotos y estudiada la estabilidad de la luz, se evaluó el contenido de quinina en 5 muestras comerciales de diferentes marcas, tanto con el método de referencia como con el nuevo método desarrollado. El contenido de quinina en las muestras se ha determinado empleando un calibrado externo y un calibrado por adición de patrón para comprobar que la matriz de la tónica no interfiriera en la cuantificación de fluorescencia con ambos instrumentos.

Los resultados mostrados en la Tabla 3 indican que la matriz no interfiere en la determinación de quinina con el método de referencia, sin embargo, si interfiere en la cuantificación por Smartphone. Por ello para cuantificar muestras reales mediante el uso de un Smartphone es necesario emplear un calibrado de adición de patrón.

| Método      | Calibración externa |            | Calibrado por adición de patrón |            |
|-------------|---------------------|------------|---------------------------------|------------|
|             | Fluorímetro         | Smartphone | Fluorímetro                     | Smartphone |
| Instrumento |                     |            |                                 |            |
| Muestra A   | 64 ± 2              | 61 ± 1     | 66 ± 2                          | 64 ± 1     |
| Muestra B   | 77 ± 1              | 55 ± 2     | 78 ± 1                          | 76 ± 2     |
| Muestra C   | 62 ± 1              | 35 ± 1     | 63 ± 1                          | 63 ± 3     |
| Muestra D   | 52.0 ± 0.3          | 33 ± 6     | 52.9 ± 0.3                      | 51 ± 4     |
| Muestra E   | 94.4 ± 1.5          | 49 ± 1     | 95.4 ± 1.5                      | 96 ± 1     |

**Tabla 3:** Análisis de del contenido de quinina expresado en mg/L para diferentes muestras reales con diferente instrumentación y diferente método de análisis.

#### 4. Conclusiones

En el presente trabajo se ha desarrollado un nuevo método para estudiar la fluorescencia de muestras reales como parámetro analítico utilizando un Smartphone. Para captar el color correctamente mediante el Smartphone se ha realizado una caracterización mediante una carta de color mostrada en una pantalla debido a que se están estudiando objetos autoluminosos. Los resultados indican que es necesario el empleo de una cubierta con un recubrimiento interno de terciopelo para lograr una correcta adquisición de las medidas de fluorescencia. El método proporciona un LOD = 0.75 mg/L y un LOQ = 2.50 mg/L. Únicamente con el recubrimiento, un Smartphone, una linterna y una caja de porexpán se ha logrado realizar un análisis fluorimétrico en muestras de tónica para cuantificar quinina. Los contenidos determinados por espectrofluorimetría son comparables a los resultados obtenidos mediante el Smartphone. A pesar de que para espectrofluorimetría la matriz de la tónica no produce interferencias, para la medición por Smartphone sí que se percibe un efecto matriz. Por lo tanto, para cuantificar quinina en tónica mediante Smartphone es necesario utilizar un calibrado por adición de patrón.

**Agradecimientos:** El grupo de investigación agradece el soporte proporcionado por el proyecto GVA-PROMETEO-2019-056

#### Bibliografía

- [1] J.C. García, M.J. Sánchez, M.A. Rodríguez, C. Díaz, “4<sup>th</sup> Order Derivative Spectrophotometric Determination of Quinine in Soft Drinks”, *Mikrochimica Acta*, 110, p.263-268 (1993).
- [2] E. Vidal, A.S. Lorenzetti, M.A. Aguirre, A. Canals, C.E. Domini, “New, inexpensive and simple 3D printable device for nephelometric and fluorimetric determination based on smartphone sensing”, *RSC Advances*, 10(33), 19713-19719 (2020).
- [3] M. Buleandra, A.A. Rabinca, M.C. Cheregi, A.A. Ciucu, “Rapid voltammetric method for quinine determination in soft drinks”, *Food Chemistry*, 253, 1-4 (2018).
- [4] S. Soares, K.G. Torres, E.L. Pimentel, P.B. Martelli, F.R.P. Rocha, “A novel spot test based on digital images for determination of methanol in biodiesel”, *Talanta*, 195, 229-235 (2019).
- [5] P. Sebastián, ML. Cervera, A. Morales, MJ. Luque Cobija. Dontrol de calidad del aceite de fritura mediante smartphones colorimétricamente calibrados. *Actas XII Congreso Nacional del Color*, pp. 75-78 (2019).

# Estudio de la interacción de la globulina 11S de semilla de uva con compuestos fenólicos mediante colorimetría diferencial

Francisco Chamizo-González\*, Belén Gordillo, Francisco J. Heredia

*Lab. Color y Calidad de Alimentos. Universidad de Sevilla. Fac. Farmacia, 41012 Sevilla, España*

<http://www.color.us.es>

**Resumen:** Las globulinas, una de las principales proteínas del endospermo de semilla de uva, presentan diversas funcionalidades tecnológicas debido a su interacción con compuestos fenólicos. En este estudio se ha aplicado la colorimetría triestímulo al estudio de la interacción entre la globulina 11S de semilla de uva (11SGB) y la malvidina-3-glucosido (mv3glc), y su impacto en el color. Además, se ha evaluado el efecto de la adición de la 11SGB sobre el color del complejo de copigmentación mv3glc-epicatequina, el cual contribuye a la estabilización del color en vinos tintos. Los resultados confirmaron un efecto positivo de la 11SGB en la variación del color de la mv3glc principalmente debido al  $\Delta L^*$  y  $\Delta C^*_{ab}$ , sugiriendo la protección del catión flavilio y una mejora de su color. En el caso de la interacción con el complejo de copigmentación mv3glc-epicatequina no se observó un efecto significativo en las variaciones de color bajo las condiciones ensayadas.

## 1. Introducción

La uva (*Vitis vinifera* L.) es uno de los mayores cultivos frutales conocidos y la semilla de uva es una matriz que contiene aproximadamente un 40 % de fibra, un 16 % de aceite, un 11 % de proteínas y un 7 % de fenoles complejos, incluyendo taninos, así como azúcares, sales minerales, etc. [1]. En los últimos años, las proteínas vegetales han cobrado un gran interés para la industria alimentaria ya que se utilizan como moduladores atributos texturales y sensoriales como la viscosidad, la gelificación, la astringencia o el color teniendo un impacto positivo en la calidad de los alimentos [2].

Hasta ahora, la mayoría de los componentes polipeptídicos identificados mediante técnicas proteómicas del endospermo de la semilla de uva mostraban una alta homología con las proteínas de almacenamiento de semillas similares a la globulina 11S de otras especies vegetales [3]. Las globulinas 11S se han definido como proteínas hexaméricas de 275-450 kDa que constan de monómeros de 50-60 kDa, que están compuestos por una subunidad ácida (30-40 kDa) y una subunidad básica (20-25 kDa) unidas por un único enlace disulfuro [4]. Se sabe que estas proteínas se caracterizan por tener  $\alpha$ -hélices y láminas  $\beta$ , información obtenida por modelización molecular.

Actualmente en las regiones de clima cálido y como consecuencia del cambio climático, la producción de vinos tintos de alta calidad cromática está muy limitada debido a que las condiciones climáticas extremas dificultan que las uvas alcancen la madurez fenólica óptima en la cosecha [5]. Una estrategia tecnológica para disminuir este efecto negativo climático es la adición de ciertos tipos de copigmentos al vino tinto para reforzar la estructura fenólica y la estabilización de la materia colorante. Sin embargo, esta práctica puede conducir en algunos casos a un aumento indeseable de la astringencia, especialmente en el caso de la adición de taninos [6]. Una posible alternativa al uso de copigmentos fenólicos para producir vinos tintos con colores estables y una sensación gustativa equilibrada de amargor y astringencia podría ser la aplicación de proteínas endógenas a la uva, sin embargo, todavía no hay muchos estudios publicados sobre este tema.

## 2. Materiales y métodos

**Obtención de un extracto de 11SGB de semilla de uva.** El material vegetal utilizado fue una harina de semilla de uva procedente de un subproducto de la industria vitivinícola. Se realizó una extracción en NaCl 0.5 M (1:10 p/v) durante una hora a temperatura ambiente. La muestra fue filtrada, dializada con una membrana de 6-8 kDa para la eliminación de sales y finalmente liofilizada.

**Adición de un extracto de 11SGB de semilla de uva a disoluciones de mv3glc.** El efecto de la adición de un extracto de 11SGB sobre el color de la mv3glc se evaluó en ausencia y presencia de epicatequina (disoluciones modelo binarias y ternarias), preparadas todas en tampón citrato (pH=3.5, 12% etanol), a una concentración fija de mv3glc de  $2 \cdot 10^{-4}$  M, y por triplicado.

**Disoluciones binarias mv3glc+11SGB.** Se prepararon disoluciones de mv3glc, en ausencia y presencia de 11SGB, a concentraciones crecientes de proteína (1.5, 2.5, y 5.0 mg/mL), analizándose el color de un total de 12 disoluciones.

**Disoluciones ternarias [mv3glc-epicatequina]+11SGB.** Se prepararon disoluciones de copigmentación mv3glc-epicatequina a ratios molares pigmento/copigmento crecientes (1:0, 1:5, 1:10, 1:20, 1:30, y 1:40), en ausencia y presencia de 11SGB a una concentración de proteína fija de 2.5 mg/L, analizándose el color de un total de 36 disoluciones.

**Medida del color.** Los espectros de absorción (380-770 nm) de todas las soluciones se registraron a intervalos constantes ( $\Delta\lambda = 2$  nm) con un lector espectrofotométrico de placas BIO-TEK UV-vis Synergy HTX. Los parámetros CIELAB se calcularon a partir de los espectros de absorción utilizando el software original CromaLab© [7], considerando un paso de luz equivalente a 10 mm. Las diferencias de color entre las disoluciones se midieron por colorimetría diferencial aplicando la fórmula Diferencia de Color CIE 1976 ( $\Delta E^*_{ab}$ ). Se aplicaron las diferencias absolutas de claridad ( $\Delta L^*$ ), croma ( $\Delta C^*_{ab}$ ) y tono ( $\Delta h_{ab}$ ) para evaluar el sentido de los cambios de color debido a la 11SGB. Además, se calculó las diferencias ( $\Delta E^*_{ab}$ ) entre el color de cada disolución preparada ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) con respecto al color del agua ( $L^*=100$ ,  $a^*=0$ ,  $b^*=0$ ). Estas diferencias, que se han denominado “Color Total, E” de las disoluciones, permiten cuantificar globalmente las características cromáticas frente al blanco de referencia, de manera análoga a las técnicas espectrales.

Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software Statistica v.8.0. Se aplicó un análisis univariante de la varianza (prueba de Tukey,  $p<0,05$ ) para establecer las diferencias estadísticas de las características colorimétricas.

### 3. Resultados

La Tabla 1 muestra la influencia de la adición de concentraciones crecientes de un extracto de 11SGB de semilla de uva (1.5, 2.5, y 5 mg/mL) en el color de una disolución de mv3glc de concentración  $2 \cdot 10^{-4}$  M, en tampón citrato (pH=3,5 12% de etanol).

La adición de proteína dio lugar a una disminución progresiva de los valores de claridad ( $L^*$ ), seguida de un aumento del croma ( $C^*_{ab}$ ) de la disolución de mv3glc, lo que significa una intensificación gradual del color, siendo coherente con el ligero incremento observado en el color total (E) calculado para cada disolución. Sin embargo, no se produjeron modificaciones significativas ( $p<0.05$ ) del tono ( $h_{ab}$ ), en el que se ha preferido considerar valores negativos, para evitar la discontinuidad entre el primer y cuarto cuadrante del diagrama ( $a^*$ ,  $b^*$ ), zona de color característica de los pigmentos antocianicos. Los parámetros colorimétricos del complejo proteína-antociano sugieren que la 11SGB de semilla de uva tiene cierta capacidad de modular las características de color de la mv3glc, estando este efecto significativamente ( $p<0.05$ ) correlacionado con su concentración. El efecto de mejora del color observado podría sugerir una protección del catión flavilio (forma coloreada de los antocianos) por interacciones hidrofóbicas, similar al que se produce en los fenómenos de copigmentación entre antocianos y copigmentos fenólicos [8].

|                 | Mv3glc                | Mv 3glc + 11SGB (mg/ml) |                        |                       |
|-----------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|
|                 |                       | 1.5                     | 2.5                    | 5.0                   |
| $L^*$           | 69.4±0.3 <sup>a</sup> | 68.1±0.1 <sup>b</sup>   | 67.8±0.1 <sup>bc</sup> | 67.2±0.3 <sup>c</sup> |
| $a^*$           | 48.8±0.4 <sup>a</sup> | 49.3±0.1 <sup>a</sup>   | 50.7±0.1 <sup>b</sup>  | 50.5±0.1 <sup>b</sup> |
| $b^*$           | -5.1±0.1 <sup>a</sup> | -4.0±0.1 <sup>b</sup>   | -4.4±0.1 <sup>c</sup>  | -4.4±0.1 <sup>c</sup> |
| $C^*_{ab}$      | 49.1±0.1 <sup>a</sup> | 49.4±0.1 <sup>a</sup>   | 50.9±0.1 <sup>b</sup>  | 50.7±0.1 <sup>b</sup> |
| $h_{ab}$        | -6.0±0.1 <sup>a</sup> | -4.7±0.1 <sup>b</sup>   | -5.0±0.1 <sup>c</sup>  | -5.0±0.1 <sup>c</sup> |
| Color Total (E) | 57.8                  | 58.9                    | 60.2                   | 60.3                  |

**Tabla 1:** Efecto de la adición de 11GB (mg/mL) en los parámetros de color de las disoluciones de malvidina 3-glucósido.

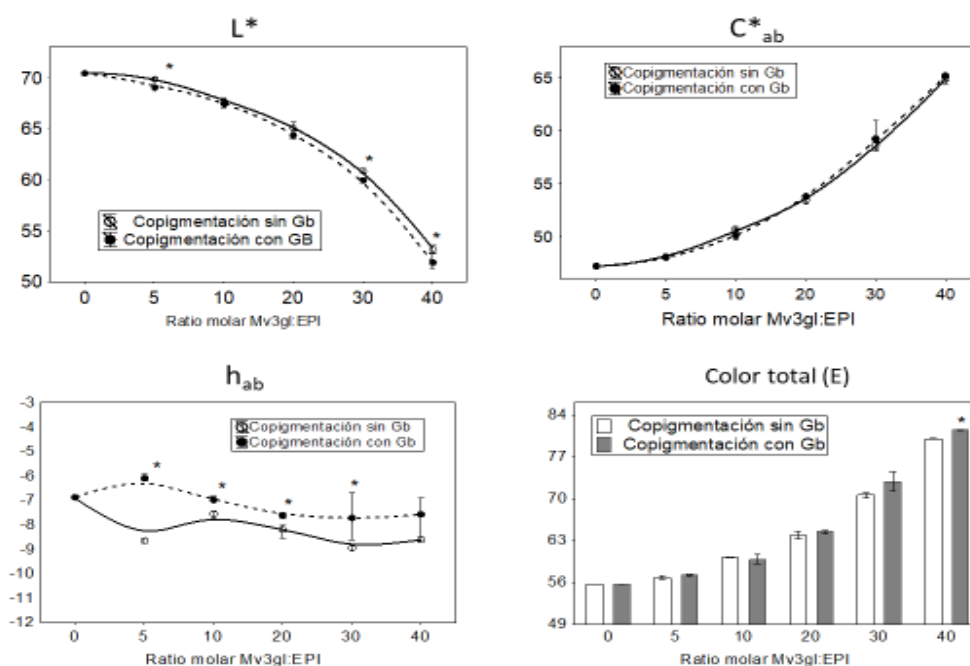
En particular, los mayores cambios de color se produjeron cuando se añadió el extracto de 11SGB a concentraciones de 2.5 y 5.0 mg/mL a las disoluciones de mv3glc. En el intervalo de concentraciones de proteína ensayadas, aunque se observaron ligeros incrementos de color total (E, Tabla 1), el cálculo de las diferencias de color entre las disoluciones añadidas con 11SGB respecto a las de mv3glc en ausencia de proteína ( $\Delta E^*_{ab}$ , Tabla 2), indican que las variaciones de color producidas son difícilmente perceptibles, lo que sugiere la necesidad de utilizar concentraciones más altas de globulina 11S para obtener efectos más

notables. En concreto, el aumento de la concentración de la proteína dio lugar a mayores disminuciones del incremento de claridad (menores valores de  $\Delta L^*$ ), lo que corresponde a un oscurecimiento visualmente creciente, mientras que los incrementos en el tono ( $\Delta h_{ab}$ ) se mantuvieron relativamente constantes. Simultáneamente, las diferencias de croma  $\Delta C^*_{ab}$  tendieron hacia mayores aumentos (valores positivos), lo que dio lugar a disoluciones más saturadas (Tabla 2).

|                   | Mv 3glc / Mv3glc +11SGB |                       |                       |
|-------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                   | 1.5                     | 2.5                   | 5.0                   |
| $\Delta E^*_{ab}$ | 1.8±0.1 <sup>a</sup>    | 2.6±0.1 <sup>b</sup>  | 2.9±0.3 <sup>b</sup>  |
| $\Delta L^*$      | -1.3±0.1 <sup>a</sup>   | -1.6±0.1 <sup>a</sup> | -2.1±0.3 <sup>b</sup> |
| $\Delta C^*_{ab}$ | +0.3±0.0 <sup>a</sup>   | +1.8±0.1 <sup>b</sup> | +1.7±0.2 <sup>b</sup> |
| $\Delta h_{ab}$   | -1.3±0.1 <sup>a</sup>   | -1.0±0.1 <sup>b</sup> | -1.1±0.1 <sup>b</sup> |

**Tabla 2:** Diferencias de color, claridad, croma y tono calculadas entre las disoluciones añadidas con 11SGB respecto a las de mv3glc en ausencia de proteína.

Finalmente, para las disoluciones de copigmentación mv3glc-epicatequina, se obtuvo que la presencia de proteína 11SGB no modificaba significativamente ( $p < 0.05$ ) los parámetros de claridad, croma, tono y color total (Figura 1). Esto sugiere que la proteína no afectó instantáneamente al sistema de copigmentación mv3glc-epicatequina en las condiciones ensayadas, y que deben ensayarse mayores concentraciones de proteína para obtener un efecto más notable en pigmentos del vino en estado de copigmentación, y realizar ensayos de estabilidad en el tiempo para confirmar su capacidad estabilizadora.



**Figura 1:** Efectos en la claridad, croma, tono y color total para disoluciones de mv3glc-epicatequina, en ausencia y presencia de 11SGB de semilla de uva.

## Conclusiones

La colorimetría triestímulo diferencial ha demostrado ser una herramienta útil en la interpretación de las interacciones antociano-proteína, como es el caso de la mv3glc en disoluciones modelo cuando interacciona con globulina 11S de semilla de uva. Así mismo, se ha evaluado mediante colorimetría triestímulo diferencial el efecto de mezclas ternarias del tipo pigmento-copigmento con proteína, como es la adición de la 11SGB al complejo de copigmentación mv3glc-epicatequina. Este estudio ha permitido avanzar en el conocimiento sobre el acoplamiento entre las proteínas de la semilla de uva y los polifenoles del vino, y sobre las posibles aplicaciones de proteínas, de gran interés para su aplicación en la industria alimentaria y especialmente en la vinificación.

## Agradecimientos

FEDER/Ministerio de Ciencia e Innovación - Agencia Estatal de Investigación (Proyecto AGL2017-84793-C2), Alvinosa Natural Ingredients, S.A (Daimiel, Ciudad Real, Spain).

## Bibliografía

- [1] Bagchi, D., Bagchi, M., Stohs, S. J., Ray, S. D., Sen, C. K., & Preuss, H. G. (2002). Cellular protection with proanthocyanidins derived from grape seeds. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 957(1), 260–270. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2002.tb02922.x>
- [2] Tomadoni, B., Capello, C., Valencia, G. A., & Gutiérrez, T. J. (2020). Self-assembled proteins for food applications: A review. *Trends in Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.015>
- [3] Gazzola, D., Vincenzi, S., Gastaldon, L., Tolin, S., Pasini, G., & Curioni, A. (2014). The proteins of the grape (*Vitis vinifera* L.) seed endosperm: Fractionation and identification of the major components. *Food Chemistry*, 155, 132–139. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.032>
- [4] Bojórquez-Velázquez, E., Lino-López, G. J., Huerta-Ocampo, J. A., Barrera-Pacheco, A., de la Rosa, A. P. B., Moreno, A., Mancilla-Margalli, N. A., & Osuna-Castro, J. A. (2016). Purification and biochemical characterization of 11S globulin from chan (*Hyptis suaveolens* L. Poit) seeds. *Food Chemistry*, 192, 203–211. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.099>
- [5] Mori, K., Sugaya, S., & Gemma, H. (2005). Decreased anthocyanin biosynthesis in grape berries grown under elevated night temperature condition. *Scientia Horticulturae*, 105(3), 319–330. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.01.032>
- [6] Canals, R., del Carmen Llaudy, M., Canals, J. M., & Zamora, F. (2008). Influence of the elimination and addition of seeds on the colour, phenolic composition and astringency of red wine. *European Food Research and Technology*, 226(5), 1183–1190. <https://doi.org/10.1007/s00217-007-0650-8>
- [7] Heredia, F. J.; Álvarez, C.; González-Miret, M.L.; Ramírez, A. CromaLab, análisis de color. Registro General de la Propiedad Intelectual, 2004.
- [8] Chamizo-González, F., Heredia, F. J., Rodríguez-Pulido, F. J., González-Miret, M. L., & Gordillo, B. (2022). Proteomic and computational characterisation of 11S globulins from grape seed flour by-product and its interaction with malvidin 3-glucoside by molecular docking. *Food Chemistry*, 386, 132842.

# Análisis de imagen digital para el estudio del efecto de tratamientos agronómicos en la apariencia de acelga baby (*Beta vulgaris* L. *cicla*)

Área de Investigación en Alimentos, Universidad de Sevilla, España  
Departamento de Ciencias Agrícolas, Universidad de Sevilla, España

<sup>1</sup>Lab. Color y Calidad de Alimentos. Universidad de Sevilla. Fac. Farmacia, 41012 Sevilla, España

<sup>2</sup>Department of Agricultural and Environmental Sciences, Università degli Studi di Milano, Milan, Italy

[maria.garcia@univ-sevilla.es](mailto:maria.garcia@univ-sevilla.es)

**Resumen:** La acelga baby (Swiss chard *Beta vulgaris* L. *cicla*) es una verdura comestible con propiedades biofuncionales por su alto contenido en flavonoides, ácidos fenólicos y betalainas. Mediante estrategias agronómicas es posible modular la biosíntesis de estos compuestos. En este trabajo se ha utilizado el equipo de análisis de imagen DigiEye para la caracterización colorimétrica y morfológica de las variedades Jupiter F1, Rhubarb Chard Sirio y Toro Rosso. La evaluación multiparamétrica ha permitido diferenciar las variedades Jupiter F1 y Rhubarb Chard, las cuales presentan visualmente una gran similitud. Además, se ha estudiado para cada una de las tres variedades los efectos que tienen en su apariencia la aplicación de tratamientos agronómicos como estrés hídrico, aplicación de ácido salicílico y la combinación de ambos respecto a un cultivo control. Los resultados confirman que el análisis de imagen es una poderosa herramienta para la caracterización de este tipo de verdura y sugieren la continuación del estudio a través de análisis químicos.

## 1. Introducción

La acelga baby (Swiss chard *Beta vulgaris* L. *cicla*) es una verdura de hoja comestible cultivada tradicionalmente en Europa y de gran consumo en distintas partes del mundo, muy apreciada por su valor culinario, dietético y potencial beneficio en la salud humana asociado con su consumo en la dieta[1]. Debido a que contienen una gran cantidad de nutrientes y fitoquímicos responsables de numerosas propiedades biofuncionales, las hojas y los tallos de las acelgas baby son consideradas alimentos funcionales y fuentes saludables de consumo alternativas a otros vegetales como las espinacas y el apio[2]. Además, debido a su carácter halófito (gran resistencia a la salinidad), presentan una mayor acumulación de fitonutrientes como flavonoides, ácidos fenólicos y betalainas, metabolitos secundarios sintetizados por la planta como respuesta a condiciones de estrés ambiental[3]. Estos compuestos no son solo responsables de su valor nutritivo y propiedades antioxidantes, sino también de atributos organolépticos como el color. Las distintas variedades de acelgas baby se pueden distinguir por su coloración, cultivándose tanto variedades verdes como rojas, estas últimas con una mayor acumulación de betalainas en las hojas[4].

En la actualidad, existe un interés por el consumo de alimentos con características nutricionales superiores, tanto en cultivos tradicionales como en la introducción de nuevas especies vegetales. En ese sentido, se ha demostrado que la aplicación del estrés hídrico moderado y la bioestimulación son estrategias agronómicas útiles para activar el metabolismo secundario de las plantas e incrementar así la concentración de compuestos bioactivos en los alimentos vegetales, lo cual se ve reflejado en la apariencia y el color[5]. Sin embargo, la respuesta de la planta a estas estrategias puede ser distinta según la variedad y el tipo de metabolito secundario afectado. En particular, la aplicación de estrés ambiental controlado en plantas de acelgas baby ha sido poco estudiado en la actualidad, y su efecto real en la composición, valor nutritivo y color según la variedad no está aún establecido. Por tanto, el objetivo de este trabajo ha sido evaluar cambios en la apariencia y el color de hojas babys de acelgas sometidas a estrés hídrico controlado y bioestimulación con ácido salicílico, que pudiesen servir como herramientas de control de calidad para discriminar variedades según la mayor o menor respuesta al estrés ambiental.

\* e-mail: [maria.garcia@univ-sevilla.es](mailto:maria.garcia@univ-sevilla.es)

## 2. Material y Métodos

Se plantaron semillas de hojas de acelga baby (*Beta vulgaris* var. cicla) de las variedades Jupiter F1 (JF1), Rhubarb Chard Sirio (RCS) y Toro Rosso (TR) en un invernadero localizado en Milán (Italia) en condiciones medioambientales naturales (22-26 °C). Para ello, se utilizaron 16 macetas para cada variedad, y en cada maceta se plantaron 6 semillas. Diez días antes de la recolección de las hojas, las 16 macetas de cada variedad se dividieron en 4 lotes de 4 macetas y cada uno se sometió a un tratamiento: estrés hídrico (S), aplicación foliar de ácido salicílico (0.01 mM) (T), ambos tratamientos simultáneos (ST), y un control sin tratamiento alguno (C). Tras la recolección, se enviaron en fresco para el análisis de imagen. La captura de imágenes se realizó con el equipo DigiEye® (VeriVide Ltd.), que adquiere imágenes de 3872×2592 píxeles y donde en cada uno se codifica la información colorimétrica CIELAB en variables de 48 bits. En Rodríguez-Pulido y col. [6] se expone una descripción más detallada de este equipo. La Fig. 1 muestra un ejemplo de imágenes para cada una de las variedades. El proceso de segmentación y procesamiento de variables morfológicas y colorimétricas de cada hoja se realizó con MATLAB® R2020a (The MathWorks Inc.). El tratamiento estadístico se llevó a cabo con InfoStat 2020. En todas las medidas se utilizó el iluminante D65 y el observador estándar CIE 1964. Como blanco de referencia se utilizó el incluido en la carta de calibración DigiTizer del equipo.

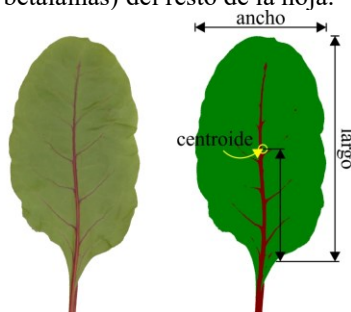


**Figura 1:** Ejemplo de imágenes de hojas de acelga baby. De izquierda a derecha: Jupiter F1, Rhubarb Chard Sirio y Toro Rosso

De cada variedad y tratamiento se obtuvieron cuatro imágenes (replicados) con cinco hojas por imagen. Esto supuso un total de 240 hojas (3 variedades × 4 tratamientos × 4 replicados × 5 hojas). Las imágenes se tomaron únicamente por el anverso, ya que es la parte donde el color verde es más intenso y donde además se manifiestan nervios, ricos en betalaínas.

## 3. Resultados y discusión

Para identificar las hojas en las imágenes y como criterio de segmentación, se seleccionaron los píxeles cuyo cociente entre croma y claridad fuera mayor a 0.3. A esta máscara de segmentación inicial se le aplicaron transformaciones morfológicas para eliminar el peciolo, ya que fue cortado arbitrariamente durante el muestreo. A continuación, se programó un algoritmo que, de cada hoja, midiera las siguientes variables:  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*_{ab}$ ,  $h_{ab}$ , heterogeneidad cromática expresada como media de las diferencias de color respecto el color medio (MCDM[7]), área ( $\text{cm}^2$ ), perímetro (cm), circularidad ( $4 \times \text{área} \times \pi / \text{perímetro}^2$ ), diámetro equivalente ( $\sqrt{4 \times \text{área} / \pi}$ ), largo (cm), ancho (cm), relación de aspecto (largo/ancho), posición del centroide desde la base respecto la longitud de la hoja y porcentaje de área color rojo respecto el área total “Fig. 2”. Se utilizó la condición  $a^* > 0$  para discriminar en la segmentación las zonas rojas (alta concentración en betalaínas) del resto de la hoja.



**Figura 2:** Imagen de una hoja de acelga baby, máscara de segmentación e indicación de algunos descriptores para la extracción de parámetros morfológicos.

En primer lugar, se evaluaron las características colorimétricas y morfológicas en las muestras control de las tres variedades estudiadas “Tabla 1”. Como era esperable, la variedad TR presentó grandes diferencias colorimétricas respecto a JF1 y RCS. Entre estas dos últimas, que eran prácticamente indistinguibles visualmente, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) en claridad y croma, siendo los valores de RCS ligeramente superiores a JF1. Al comparar las características morfológicas, también las hojas TR mostraron más diferencias con JF1 y RCS que entre estas dos entre sí. Al comparar JF1 y RCS, se observó que las hojas JF1 fueron generalmente más grandes y redondeadas que RCS.

|                      | Jupiter F1   | Rhubarb Chard<br>Sirio | Toro Rosso   |
|----------------------|--------------|------------------------|--------------|
| Área                 | 41±10a       | 34±10b                 | 15.6±4.1c    |
| Perímetro            | 25.4±3.2a    | 24.6±3.8a              | 16.4±2.4b    |
| Circularidad         | 0.784±0.029a | 0.696±0.091a           | 0.723±0.044b |
| Diámetro Equiv       | 7.16±0.92a   | 6.51±0.99b             | 4.42±0.56c   |
| Largo                | 9.8±1.2a     | 9.5±1.6a               | 5.88±0.93b   |
| Ancho                | 5.66±0.86a   | 4.94±0.98b             | 3.78±0.52c   |
| Relación de Aspecto  | 1.75±0.16a   | 1.96±0.37b             | 1.56±0.12c   |
| Posición Centroide   | 0.515±0.010a | 0.503±0.014ab          | 0.501±0.023b |
| Área roja (fracción) | 0.085±0.014a | 0.090±0.020a           | 0.999±0.005b |
| MCDM                 | 9.2±1.6a     | 10.8±2.4b              | 5.1±1.2c     |
| L*                   | 52.9±2.4a    | 54.7±2b                | 35.3±1.9c    |
| a*                   | -10.44±0.86a | -10.5±1.1a             | 14.6±1.5b    |
| b*                   | 33±1.5a      | 34.9±2.1b              | 8.1±1.4c     |
| C* <sub>ab</sub>     | 36.8±1.3a    | 38.7±1.8b              | 17.2±1.3c    |
| h <sub>ab</sub>      | 104±1.2a     | 104.6±1.4a             | 30.5±5.6b    |

**Tabla 1:** Medias y desviaciones estándar de los parámetros medidos por análisis de imagen en las muestras control de las tres variedades estudiadas. Medias con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ).

Para cada variedad, se estudió qué repercusión tuvo cada uno de los tratamientos respecto las muestras control. La Tabla 2 muestra los parámetros en los que se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) entre algún par de tratamientos. Atendiendo solamente a parámetros morfológicos, solamente las hojas de JF1 sufrieron modificaciones. Los tratamientos S y T disminuyeron el área de hoja, siendo la disminución mayor cuando se combinaron (ST). En área, perímetro, largo, ancho y diámetro equivalente, los valores numéricos disminuyeron en este orden: C>T>S>ST. Respecto a los parámetros colorimétricos, cada variedad tuvo una respuesta diferente a los tratamientos agronómicos. Para JF1, solamente se encontraron diferencias respecto al control cuando se aplicaron los dos tratamientos de manera conjunta (ST), que conducían a valores menores de claridad, croma y heterogeneidad. Para RCS, se encontraron diferencias respecto el control solamente para el tratamiento S, que también produjo un descenso de claridad y croma. Por último y para la variedad TR, las diferencias mayores respecto el control se encontraron para el tratamiento T, que se manifestaron con un aumento de la claridad y la heterogeneidad. Solamente en la variedad TR se produjo una modificación del tono al aplicar tratamientos agronómicos. Tanto S como T produjo un aumento del tono, que fue más acentuado para las muestras T. Sin embargo, la combinación de ambos tratamientos causó un ligero descenso del tono, aunque sin diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

|                   | C          | S           | T           | ST         |
|-------------------|------------|-------------|-------------|------------|
| <b>Jupiter F1</b> |            |             |             |            |
| Área              | 41±10a     | 31.6±8.8bc  | 37.5±7.8ab  | 26.3±6.4c  |
| Perímetro         | 25.4±3.2a  | 22.2±3bc    | 24.2±2.2ab  | 20.4±2.5c  |
| Diámetro Equiv    | 7.16±0.92a | 6.28±0.87bc | 6.88±0.72ab | 5.75±0.68c |
| Largo             | 9.8±1.2a   | 8.7±1.2bc   | 9.27±0.96ab | 7.95±0.88c |
| Ancho             | 5.66±0.86a | 4.96±0.84bc | 5.52±0.81ab | 4.53±0.65c |
| MCDM              | 9.2±1.6a   | 9.5±1.3ab   | 9.1±1.9ab   | 8±1.8b     |
| L*                | 52.9±2.4a  | 53.7±2.5a   | 52.9±2.6a   | 50.4±3.3b  |
| a*                | -10.4±0.9a | -10.0±0.7ab | -10.6±1a    | -9.5±1.3b  |
| b*                | 33.0±1.5a  | 31.9±1.6ab  | 32.5±2.5ab  | 31.3±1.8b  |
| C* <sub>ab</sub>  | 36.8±1.3a  | 36±1.4ab    | 36.4±2.1ab  | 34.4±2b    |

|                            |                      |               |              |              |              |
|----------------------------|----------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Rhubarb Chard Sirio</b> | L*                   | 54.7±2ab      | 52.6±3.3b    | 55±3.1a      | 54.6±1.9ab   |
|                            | a*                   | -10.5±1.1a    | -9.4±1.4b    | -10.5±1.2a   | -10.1±1ab    |
|                            | b*                   | 34.9±2.1a     | 32.4±2.2b    | 33.9±2.1ab   | 33.8±2ab     |
|                            | C* <sub>ab</sub>     | 38.7±1.8a     | 36±2.3b      | 37.4±2.1ab   | 37.5±1.8ab   |
| <b>Toro Rosso</b>          | Área roja (fracción) | 0.999±0.005ab | 0.999±0.002a | 0.991±0.019b | 1.000±0.000a |
|                            | MCDM                 | 5.1±1.2a      | 5.7±1.1ab    | 6.4±1.7b     | 4.87±0.72a   |
|                            | L*                   | 35.3±1.9a     | 36.8±1.5ab   | 38.2±2.6b    | 35.4±2a      |
|                            | b*                   | 8.1±1.4a      | 8.8±1.6ab    | 10.2±2.8b    | 7.6±1.8a     |
|                            | h <sub>ab</sub>      | 30.5±5.6a     | 33.1±6.8ab   | 38±11b       | 29.1±5.8a    |
|                            |                      |               |              |              |              |

**Tabla 2:** Efecto de tratamientos agronómicos en las propiedades de color y apariencia de las tres variedades estudiadas. Medias con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ).

### 3. Conclusiones

En este trabajo se ha establecido la metodología para la evaluación de hojas de tres variedades de acelga baby mediante análisis de imagen. Se ha podido discriminar entre hojas de variedades Jupiter F1 y Rhubarb chard Sirio, las cuales poseen la misma apariencia visual. Además, y para cada variedad, se ha estudiado cómo afectan a su apariencia el estrés hídrico, el tratamiento con ácido salicílico y la combinación de ambos tratamientos, encontrándose resultados interesantes y postulándose el análisis de imagen digital como una poderosa herramienta para esta caracterización. La continuación del estudio pasaría por el análisis fisicoquímico de las muestras con el fin de profundizar en los fenómenos responsables de dichos cambios en el color y la apariencia.

### Bibliografía

- [1] M. Gamba, P. F. Raguindin, E. Asllanaj, F. Merlo, M. Glisic, B. Minder, W. Bussler, B. Metzger, H. Kern, et al., "Bioactive compounds and nutritional composition of Swiss chard (*Beta vulgaris* L. var. *cicla* and *flavescens*): a systematic review," *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, **61**, pp. 3465–3480 (2021).
- [2] Z. Mzoughi, H. Chahdoura, Y. Chakroun, M. Cámara, V. Fernández-Ruiz, P. Morales, H. Mosbah, G. Flamini, M. Snoussi, et al., "Wild edible Swiss chard leaves (*Beta vulgaris* L. var. *cicla*): Nutritional, phytochemical composition and biological activities," *Food Res. Int.*, **119**, pp. 612–621 (2019).
- [3] L. Barros, P. Morales, A. M. Carvalho, I. C. F. R. Ferreira, "Antioxidant Potential of Wild Plant Foods," in *Mediterr. Wild Edible Plants Ethnobot. Food Compos. Tables*, M. de C. Sánchez-Mata and J. Tardío, Eds. (Springer, New York, NY, 2016).
- [4] Y.-H. Pyo, T.-C. Lee, L. Logendra, R. T. Rosen, "Antioxidant activity and phenolic compounds of Swiss chard (*Beta vulgaris* subspecies *cicla*) extracts," *Food Chem.*, **85**, pp. 19–26 (2004).
- [5] L. Mogren, M. Alam, B. W. Alsanius, S. Boqvist, I. Vågsholm, "Swiss chard (*Beta vulgaris*) produced under greenhouse conditions – effects of water content in the growing media on the content of bioactive compounds and the microbiology of the leaf surface," *Acta Hort.*, pp. 381–384 (2016).
- [6] F. J. Rodríguez-Pulido, M. L. González-Miret, F. J. Heredia, "Application of imaging techniques for the evaluation of phenolic maturity of grape seeds," *Opt. Pura Apl.*, **50**, pp. 1–11 (2017).
- [7] R. S. Berns, F. W. Billmeyer, M. Saltzman, *Billmeyer and Saltzman's principles of color technology*, 3rd ed (Wiley, New York, 2000).

## Medidas del color de las banderas de las Comunidades y Ciudades Autónomas de España en dos altas instituciones del Estado

Manuel Melgosa<sup>1\*</sup>, Michal Vik<sup>2</sup>, Martina Viková<sup>2</sup>, Luis Gómez-Robledo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Óptica, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. 18071-Granada (España).*

<sup>2</sup>*Faculty of Textile Engineering, Technical University of Liberec, Liberec, Czech Republic.*

**Resumen:** Hemos realizado 3 medidas espectrofotométricas independientes sobre las telas de las 19 banderas de las Comunidades y Ciudades Autónomas exhibidas en la sala de banderas del Tribunal Supremo y el hall principal del Tribunal Constitucional. La diferencia de color promedio entre las banderas de estas instituciones es de 7.8 unidades CIELAB. En cambio, la diferencia de color promedio entre las banderas de estas instituciones y un conjunto de banderas de tela compradas por internet es unas 3 veces mayor, aproximadamente. Para las 7 banderas en que existe una normativa legal cuantitativa sobre sus colores, las diferencias de color entre dicha normativa y las medidas realizadas en las instituciones mencionadas son también altas (en promedio casi 20 unidades CIELAB). Convendría proponer valores de referencia para los colores de todas las banderas de las Comunidades y Ciudades Autónomas de España, con tolerancias apropiadas, y nuestros resultados actuales permiten hacerlo.

### 1. Introducción

El color de los símbolos, en especial el de las banderas, es un tema de indudable interés [1]. En un trabajo previo [2] iniciamos el estudio del color de las 19 banderas de las Comunidades y Ciudades Autónomas (CCAA) existentes actualmente en España [3-5], considerando los tres aspectos siguientes: 1) Lagunas en la legislación vigente respecto a la especificación cuantitativa del color de estas banderas; 2) Compra online de un conjunto de banderas de tela de las CCAA y medidas colorimétricas de las mismas bajo distintas condiciones experimentales; 3) Discusión sobre las condiciones experimentales de medida del color que convendría adoptar con vistas a una futura estandarización de los colores de las banderas. En continuidad con este trabajo previo [2], presentamos ahora los resultados de las medidas de las banderas de las CCAA de España que hemos realizado en dos altas instituciones del Estado (Figura 1): La sala de banderas del Tribunal Supremo (TS) y el hall principal del Tribunal Constitucional (TC).



**Figura 1:** Una zona de la sala de banderas del Tribunal Supremo (izquierda) y hall principal del Tribunal Constitucional (derecha)

Pensamos que los colores de las banderas del TS y TC podrían ser una referencia importante a considerar al proponer una estandarización de los colores de las banderas de las CCAA con sus correspondientes tolerancias, dado el carácter oficial de estos lugares y la importancia de sus símbolos. Nos informan de que no todas las banderas medidas en el TS tienen la misma antigüedad, siendo apreciable que son más antiguas que las banderas medidas en el TC. En ambos casos, se trata de banderas confeccionadas a mano, de mayor

\* e-mail: mmelgosa@ugr.es

calidad que las banderas de tela que compramos online para nuestro trabajo inicial [2]. Además, los escudos de las banderas del TS y TC tienen bordados y abundantes detalles de tamaño pequeño, algunos de los cuales no están presentes en las banderas compradas online.

## 2. Métodos y resultados

Mediante un espectrofotómetro Konica Minolta CM-2600d con geometría d/8 y apertura 8 mm, hemos realizado 3 medidas no sucesivas de los colores de los 91 elementos que encontramos en las 19 banderas de las CCAA existentes en el TS y en el TC. Conforme a nuestras conclusiones previas [2], en estas medidas suponemos iluminante CIE D65, observador patrón CIE 1964, componente especular excluida (SCE) y UV=100%. Todas las medidas se efectuaron situando la tela sobre un mismo material blanco (placa RS-50 StellarNet Inc., usada como blanco patrón en algunos laboratorios) con coordenadas promedio  $L^*_{10}=94.7$ ,  $a^*_{10}=0.3$ ,  $b^*_{10}=1.5$ . En todos nuestros análisis posteriores usaremos el espacio de color CIELAB [6].

Los promedios de las desviaciones típicas de las 3 medidas realizadas de las coordenadas CIELAB y de los valores de diferencia de color media respecto a la media (MCDM) [7] se muestran en la Tabla 1 para las banderas del TS y del TC. Los valores de la Tabla 1 son aproximadamente el doble de los medidos previamente para las banderas compradas online [2], quizá porque cuando hicimos las medidas de las banderas compradas online nos apoyamos sobre una mesa de laboratorio y la placa RS-50 StellarNet Inc. era totalmente nueva. En todo caso, podemos decir que la precisión de nuestras medidas es buena, pues los valores de la Tabla 1 son relativamente bajos.

|                              | D.T. $L^*_{10}$ | D.T. $a^*_{10}$ | D.T. $b^*_{10}$ | MCDM (CIELAB) |
|------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|
| Tribunal Supremo (TS)        | 0.9             | 0.5             | 0.7             | 1.0           |
| Tribunal Constitucional (TC) | 1.0             | 0.6             | 0.9             | 1.2           |

**Tabla 1:** Desviaciones típicas (D.T.) de las 3 coordenadas CIELAB y diferencias de color medias respecto a la media (MCDM) en unidades CIELAB para 3 medidas no consecutivas (D65, CIE 1964, SCE, UV=100%, fondo blanco) de las banderas estudiadas.

Para cada una de las banderas de las CCAA, la Tabla 2 muestra el número de ‘colores medidos’ (CM), en total 91 (columna 2), y el número de ‘colores principales’ (CP), en total 48 (columna 3). Entendemos por ‘colores principales’ (CP) los de los elementos más grandes y visibles de las banderas, que son, aproximadamente, los colores que se obtienen al excluir los existentes en los escudos que hay en 10 de las 19 banderas. Esta distinción entre ‘colores medidos’ y ‘colores principales’ es conveniente, pues en varios casos obtuvimos grandes discrepancias de color precisamente para los elementos de los escudos de las banderas. La Tabla 2 muestra también, para cada una de las CCAA, los valores medios de las diferencias de color CIELAB entre las banderas del TS y TC (columnas 4-5), así como entre las banderas compradas (CO) y las del TS y TC (columnas 6-9), considerando separadamente CM y CP. En las dos últimas filas se muestran los valores medios y desviaciones típicas de las diferencias de color CIELAB, considerando todos los colores individuales (TS-TC, CO-TS y CO-TC).

Según la Tabla 2, para CM la diferencia de color promedio entre TS y TC tienen un valor de 7.8 unidades CIELAB, bastante menor que el obtenido para la diferencia CO-TS (25.3 unidades CIELAB) y CO-TC (22.9 unidades CIELAB). Por tanto, podríamos decir que en promedio los colores de las banderas del TS y del TC son relativamente similares entre sí, y, a su vez, bastante distintos a los colores de las banderas compradas online (CO). Este resultado nos permite ser optimistas en cuanto a la posibilidad de una futura estandarización cuantitativa del color de las banderas de las CCAA, que, entre otros beneficios, podría ser una referencia útil para todos los fabricantes de banderas. Como era de esperar, para CP las diferencias de color CIELAB son inferiores que para CM, disminuyendo especialmente las desviaciones típicas (e.g. 7.2 frente a 12.0 para TS-TC). Según la Tabla 2, en la comparación TS-TC para CP las banderas de Galicia y la Rioja tienen diferencias de color particularmente altas (19.4 y 17.8 unidades CIELAB, respectivamente): Esto se debe a que en las banderas de TS y TC los colores de la franja diagonal azul de la bandera de Galicia y de las franjas horizontales roja y verde de la bandera de la Rioja son muy discrepantes.

En cuanto a atributos de apariencia de las diferencias de color medidas para banderas de distintas procedencias (e.g. TS y TC), la Tabla 3 muestra que, en promedio, las diferencias en claridad:croma:tono CIELAB son bastante similares, en proporción 2:2:1, aproximadamente. Este resultado podría interpretarse como un indicador de que la diferencia de tono sería implícitamente la menos aceptable en la reproducción del color de las banderas.

| CCAA                | Colores medidos (CM) | Colores principales (CP) | Promedio de diferencias de color en unidades CIELAB |            |             |             |             |             |
|---------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                     |                      |                          | TS-TC                                               |            | CO-TS       |             | CO-TC       |             |
|                     |                      |                          | CM                                                  | CP         | CM          | CP          | CM          | CP          |
| Andalucía           | 5                    | 2                        | 3.9                                                 | 6.1        | 26.4        | 23.8        | 26.5        | 25.6        |
| Aragón              | 6                    | 2                        | 8.3                                                 | 6.3        | 21.4        | 19.1        | 20.8        | 15.4        |
| Asturias            | 2                    | 2                        | 4.9                                                 | 4.9        | 18.9        | 18.9        | 16.1        | 16.1        |
| Baleares            | 4                    | 4                        | 4.6                                                 | 4.6        | 24.7        | 24.7        | 23.8        | 23.8        |
| Canarias            | 8                    | 3                        | 17.4                                                | 4.8        | 32.7        | 22.8        | 20.5        | 18.8        |
| Cantabria           | 5                    | 2                        | 4.6                                                 | 5.1        | 19.4        | 20.0        | 20.2        | 21.5        |
| Castilla-León       | 5                    | 4                        | 3.2                                                 | 3.1        | 33.4        | 31.1        | 34.8        | 32.0        |
| Castilla Mancha     | 4                    | 3                        | 5.4                                                 | 6.3        | 29.3        | 28.9        | 29.0        | 27.8        |
| Cataluña            | 2                    | 2                        | 3.7                                                 | 3.7        | 17.6        | 17.6        | 16.9        | 16.9        |
| Ceuta               | 5                    | 2                        | 16.8                                                | 1.9        | 26.5        | 16.8        | 20.7        | 16.5        |
| Extremadura         | 7                    | 3                        | 3.3                                                 | 3.2        | 26.0        | 19.0        | 24.4        | 17.7        |
| Galicia             | 6                    | 2                        | 14.7                                                | 19.4       | 26.1        | 24.0        | 19.7        | 10.5        |
| Madrid              | 2                    | 2                        | 5.8                                                 | 5.8        | 14.4        | 14.4        | 13.6        | 13.6        |
| Melilla             | 6                    | 1                        | 3.6                                                 | 3.8        | 22.3        | 20.0        | 23.1        | 23.1        |
| Murcia              | 2                    | 2                        | 4.1                                                 | 4.1        | 22.5        | 22.5        | 20.2        | 20.2        |
| Navarra             | 3                    | 1                        | 3.0                                                 | 3.5        | 18.7        | 8.0         | 20.6        | 8.9         |
| País Vasco          | 3                    | 3                        | 8.4                                                 | 8.4        | 16.8        | 16.8        | 12.2        | 12.2        |
| Rioja               | 10                   | 4                        | 11.3                                                | 17.8       | 26.6        | 27.8        | 24.3        | 22.2        |
| Valencia            | 6                    | 4                        | 4.3                                                 | 4.4        | 29.1        | 23.4        | 28.0        | 23.3        |
| <b>Media</b>        | -                    | -                        | <b>7.8</b>                                          | <b>6.4</b> | <b>25.3</b> | <b>22.4</b> | <b>22.9</b> | <b>20.4</b> |
| <b>Desv. Típica</b> | -                    | -                        | <b>12.0</b>                                         | <b>7.2</b> | <b>12.2</b> | <b>9.3</b>  | <b>9.8</b>  | <b>9.1</b>  |

**Tabla 2:** Para cada una de las banderas de las CCAA, número de colores medidos (CM), colores principales (CP) y distintas diferencias de color CIELAB entre banderas del Tribunal Supremo (TS), Tribunal Constitucional (TC) y compradas online (CO).

|                        | TS-TC |      | CO-TS |      | CO-TC |      |
|------------------------|-------|------|-------|------|-------|------|
|                        | CM    | CP   | CM    | CP   | CM    | CP   |
| % $\Delta L_{10}^*$    | 41.1  | 40.7 | 43.1  | 43.7 | 42.8  | 49.1 |
| % $\Delta C_{ab,10}^*$ | 41.4  | 42.2 | 43.7  | 43.7 | 41.8  | 37.6 |
| % $\Delta H_{ab,10}^*$ | 17.5  | 17.1 | 13.2  | 12.6 | 15.4  | 13.3 |

**Tabla 3:** Porcentajes de diferencias en claridad, croma y tono en la diferencia de color total, para banderas de distinta procedencia: Tribunal Supremo (TS), Tribunal Constitucional (TC) y compradas online (CO). CM: colores medidos; CP: colores principales.

Un asunto de especial interés, al que ya hicimos referencia en nuestro trabajo inicial [2], es que actualmente en las normativas legales sólo hay especificaciones cuantitativas del color de las banderas de 8 de las 19 CCAA (42%), siendo además poco útiles algunas de dichas especificaciones, por basarse en el iluminante C (actualmente obsoleto según la CIE) o dar valores inconsistentes (caso del color verde Omeya de la bandera de Andalucía). La Tabla 4 muestra las diferencias de color CIELAB entre los valores indicados en las normativas legales (LE) y las medidas efectuadas en las banderas del TS, TC y CO, para 7 banderas de las CCAA (no hay valores legales consistentes para las banderas de las restantes CCAA), tras una transformación de adaptación cromática al iluminante D65 y observador patrón CIE 1964, suponiendo una luminancia de adaptación  $L_A=63.7$  cd/m<sup>2</sup> y adaptación completa ( $F=1$ ) [8]. La última columna de la Tabla 4 indica las tolerancias CIELAB, en los casos en que se indica en la legislación.

| CCAA                | Número colores | TS-LE       | TC-LE       | CO-LE       | Tolerancia LE |
|---------------------|----------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Aragón              | 3              | 13.3        | 18.6        | 25.1        | 5             |
| Asturias            | 2              | 32.2        | 29.4        | 32.3        | 10            |
| Cataluña            | 2              | 27.4        | 29.8        | 25.1        | -             |
| Extremadura         | 1              | 7.3         | 10.9        | 25.0        | -             |
| Galicia             | 6              | 15.7        | 12.9        | 15.9        | 10            |
| Madrid              | 2              | 9.7         | 11.4        | 16.6        | -             |
| Valencia            | 5              | 22.1        | 19.1        | 26.4        | 5             |
| <b>Media</b>        | <b>21</b>      | <b>18.6</b> | <b>18.1</b> | <b>22.7</b> | -             |
| <b>Desv. Típica</b> | <b>21</b>      | <b>12.4</b> | <b>11.1</b> | <b>10.8</b> | -             |

**Tabla 4:** Diferencias de color CIELAB entre los valores de las normativas legales (LE) de 7 CCAA y los valores medidos experimentalmente en las banderas del Tribunal Supremo (TS), Tribunal Constitucional (TC) y compradas online (CO).

Según la Tabla 4 las diferencias de color promedio respecto a los valores de la legislación vigente son considerablemente altas (unas 20 unidades CIELAB). Un análisis detallado de estos resultados (no mostrado en la Tabla 4) muestra que especialmente en el color amarillo (presente en las banderas de Asturias, Cataluña y Valencia) es en el que se dan las máximas discrepancias entre los valores legales y medidos. Como podemos ver, los valores promedio de la Tabla 4 son aproximadamente 2-3 veces mayores que las diferencias TS-TC indicadas en la Tabla 2.

### 3. Conclusiones

Las diferencias de color entre las banderas del TS y TC son en promedio inferiores a 10 unidades CIELAB, mientras que las diferencias entre los colores de dichas banderas y un conjunto de banderas compradas online excede en promedio las 20 unidades CIELAB. Las diferencias de color promedio entre los valores de las normativas legales (en los pocos casos en que existen) y los valores medidos en las banderas del TS, TC y compradas online son próximas a 20 unidades CIELAB. Según estos resultados, las normas legislativas quizá deberían establecer coordenadas de color basadas en los colores de las banderas del TS y TC, con tolerancias de 10 unidades CIELAB, aunque esta tolerancia sea muy alta en tareas convencionales de reproducción del color y claramente perceptible por el ojo humano, pues aquí la finalidad principal es sólo que las banderas sean fácilmente reconocidas e identificadas por las personas.

**Agradecimientos:** A los Magistrados del Tribunal Supremo y del Tribunal Constitucional de España, que nos facilitaron obtener los permisos necesarios para acceder a las banderas medidas, así como al personal Administrativo, Seguridad y Policía Nacional de estas instituciones. A la Sociedad Española de Vexilología por su valioso asesoramiento. Esta investigación está financiada por el Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España: PID2019-107816GB-I00/SRA/10.13039/501100011033.


### Bibliografía

- [1] M. Melgosa, “El color en los símbolos”, *Óptica Pura y Aplicada* 39, 365-370 (2006).
- [2] L. Gómez-Robledo, M. Vik, M. Viová, M. Melgosa. “Hacia una estandarización del color de las banderas de las Comunidades y Ciudades Autónomas de Andalucía”. *Actas del XII Congreso Nacional del Color* (ISBN: 978-84-09-15750-1), pp. 128-131. Linares, 2019.
- [3] Sociedad Española de Vexilología. <http://vexilologia.org/banderas-espanolas/comunidades-autonomas/>
- [4] Ministerio para las Administraciones Públicas (Secretaría General Técnica). *Banderas y Escudos de las Comunidades Autónomas*. Madrid, 1989.
- [5] R. L. Gómez Herrera. *Compendio de las banderas de España, 4ª Edición* (Sociedad Española de Vexilología, 2018).
- [6] CIE 015:2018. *Colorimetry, 4th Edition* (CIE Central Bureau, Vienna, 2018).
- [7] R. S. Berns. *Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology, 3rd Edition* (Wiley 2000, p. 97).
- [8] C. Li, Y. Xu, Z. Wang, M. R. Luo, G. Cui, M. Melgosa, M. H. Brill, M. Pointer, “Comparing two-step and one-step chromatic adaptation transforms using the CAT16 model”, *Color Research and Application* 43, 633-642 (2018).



## SESIÓN 2:

# Color en Arte y Arquitectura



# Aplicación de smartphone en el análisis colorimétrico de réplicas de pinturas rupestres

T. Mirco Ramacciotti<sup>1</sup>, M. Moliner<sup>2</sup>, J. Beltrán<sup>3</sup>, J. Paterna<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Prehistoria, Arqueología e Historia Antigua, Universidad de Valencia. Av. Blasco Ibáñez, 28, 46010 Valencia, España.

<sup>2</sup>Departamento de Química Analítica, Universidad de Valencia. C/ Dr. Moliner, 50, 46100 Burjassot, Valencia, España.

<sup>3</sup>UMR 5608 TRACES, Centro Nacional para la Investigación Científica (CNRS), 5, Allée Antonio Machado, 31058, Toulouse, Francia.

<sup>4</sup>Instituto de Ciencia de Materiales, Universidad de Valencia. Av. Catedrático José Beltrán, 2, 46980 Paterna, Valencia, España.

**Resumen:** Este trabajo tiene por objetivo evaluar las posibilidades que ofrece el análisis de imagen efectuado sobre soporte fotográfico obtenido con smartphone en la caracterización colorimétrica de los pigmentos utilizados en el arte rupestre prehistórico. Con este fin, se procedió a la elaboración experimental de pigmentos minerales, siguiendo distintas recetas basadas en datos arqueológicos y etnológicos, y se aplicaron sobre una superficie de roca carbonatada similar al soporte donde se localizan las pinturas rupestres holocenas del arco mediterráneo.

Cada trazo elaborado con las distintas recetas fue fotografiado con un smartphone en ambiente controlado y analizado con un espectrómetro de fluorescencia de rayos X portátil para evaluar la relación entre los niveles elementales de los pigmentos y los parámetros de color obtenidos por análisis de imagen.

## 1. Introducción

La fragilidad y el valor patrimonial y cultural del arte prehistórico exige el desarrollo de protocolos no-invasivos en su análisis y documentación. Por lo que respecta a las pinturas rupestres, estos protocolos deben favorecer al mismo tiempo una comprensión integral de la secuencia de gestos técnicos que rigen la elaboración de estas manifestaciones gráficas, así como de las materias primas colorante utilizadas [1-3]. La colorimetría se ha revelado como una herramienta fundamental en la descripción objetiva de las variaciones de color que se observan en las figuras de un mismo panel. Su aplicación no solo ha favorecido el análisis de la correlación de figuras a nivel estilístico y compositivo, sino que también ha permitido definir estrategias de conservación a través de la observación de las alteraciones sufridas por los pigmentos en distintos lapsos de tiempo [4].

En este trabajo se presentan los resultados de la aplicación de smartphone para llevar a cabo el análisis colorimétrico de pinturas rupestres. Para ello, se realizaron réplicas de pigmentos a base de óxidos de hierro y distintos aglutinantes, que se aplicaron sobre lascas de roca carbonatada. Cada uno de los pigmentos resultantes fue fotografiado con un smartphone y caracterizado por análisis multielemental empleando un espectrómetro portátil de fluorescencia de rayos X con el objetivo de observar relaciones entre color y composición elemental.

## 2. Materiales y métodos

Se realizaron un total de 27 réplicas de pigmento, compuestas por concentraciones crecientes de un mismo óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y distintas concentraciones de tres aglutinantes: agua (W), leche (M) y tuétano (MA) (Tabla 1). Además, se testó la aplicación aislada de dos de los aglutinantes (M y MA).

Las réplicas fueron pintadas sobre tres soportes de roca carbonatada (LS1-3, Fig. 1).

\* e-mail: mirco.ramacciotti@uv.es



**Figura 1:** Pigmentos experimentales realizados sobre soporte carbonatado. Cada cuadro se corresponde con una receta y un modo de aplicación distinto.

| Muestra | Clase   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g) | Soporte | Muestra | Clase   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g) | Soporte | Muestra | Clase   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g) | Soporte |
|---------|---------|------------------------------------|---------|---------|---------|------------------------------------|---------|---------|---------|------------------------------------|---------|
| M22     | Leche   | 0                                  | LS1     | MA15    | Tuétano | 0.0203                             | LS1     | W38     | Agua    | 0.0725                             | LS2     |
| M23     | Leche   | 0.0195                             | LS1     | MA16    | Tuétano | 0.0403                             | LS1     | W39     | Agua    | 0.0918                             | LS2     |
| M25     | Leche   | 0.0368                             | LS1     | MA17    | Tuétano | 0.0616                             | LS1     | W41     | Agua    | 0.102                              | LS2     |
| M26     | Leche   | 0.0558                             | LS1     | MA18    | Tuétano | 0.0784                             | LS1     | W42     | Agua    | 0.1202                             | LS2     |
| M27     | Leche   | 0.0765                             | LS1     | MA19    | Tuétano | 0.1078                             | LS1     | W12     | Agua    | 0.0682                             | LS3     |
| M28     | Leche   | 0.0999                             | LS1     | MA20    | Tuétano | 0.1232                             | LS1     | W13     | Agua    | 0.0682                             | LS3     |
| M29     | Leche   | 0.1204                             | LS1     | MA43    | Tuétano | 0.0744                             | LS2     | W14     | Agua    | 0.0682                             | LS3     |
| M9      | Leche   | 0.0713                             | LS3     | MA44    | Tuétano | 0.0744                             | LS2     | LS1     | Soporte | 0                                  | -       |
| M10     | Leche   | 0.0713                             | LS3     | MA45    | Tuétano | 0.0744                             | LS2     | LS2     | Soporte | 0                                  | -       |
| M11     | Leche   | 0.0713                             | LS3     | W36     | Agua    | 0.0195                             | LS2     | LS3     | Soporte | 0                                  | -       |
| MA21    | Tuétano | 0                                  | LS1     | W37     | Agua    | 0.0499                             | LS2     |         |         |                                    |         |

**Tabla 1:** Características de las réplicas: aglutinante y gramos de óxido de hierro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) empleados y soporte.

Las réplicas fueron fotografiadas en un ambiente con iluminación controlada (Fig. 2) con un Samsung Galaxy S7 Edge (ISO: 80, f: 1/500 s, T: 3700 K, focus: manual, zoom: x 5.0). Los datos de RGB de píxeles seleccionados aplicando una máscara circular a las imágenes fueron convertidos en valores de triestímulo XYZ y, empleando la foto de un blanco de referencia, en los parámetros del espacio de color CIELAB. El análisis de imagen fue efectuado empleando MATLAB (versión: R2019b) de Mathworks y el paquete Colorlab [5]. Los valores medianos de L\*, a\* y b\* fueron considerados representativos de las muestras. Para evaluar la calidad de los datos, cada muestra fue analizada también con un espectrorradiómetro SpectraScan® PR 655 Photo Research®. Todas las réplicas fueron caracterizadas por análisis multielemental empleando un espectrómetro de fluorescencia de rayos X portátil (pXRF) S1 Titan de Bruker.



**Figura 2:** Cámara obscura para la foto (izquierda) y foto de la muestra MA16 (derecha).

### 3. Resultados y discusión

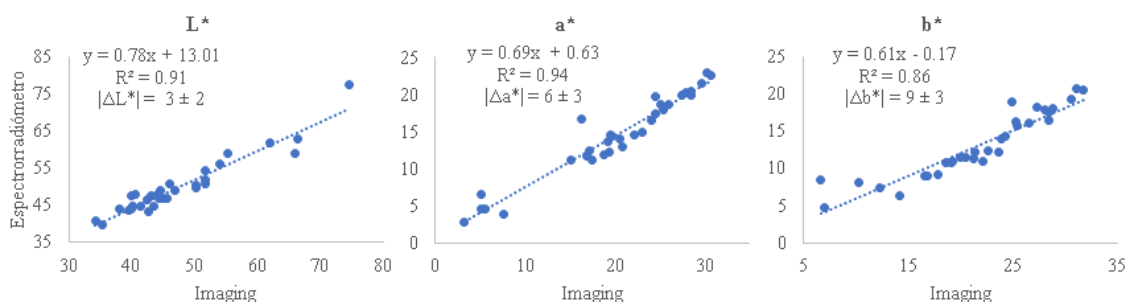
En la Tabla 2 se resumen los resultados de *imaging*, espectrorradiómetro y las concentraciones de calcio y hierro por las diferentes clases de muestras.

| Clase   | L* <sub>I</sub> | a* <sub>I</sub> | b* <sub>I</sub> | L* <sub>E</sub> | a* <sub>E</sub> | b* <sub>E</sub> | Ca         | Fe        |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------|-----------|
| Agua    | 46.5 ± 6.6      | 26.2 ± 4.5      | 27.8 ± 2.8      | 48.2 ± 5.5      | 19.8 ± 2.2      | 17.9 ± 2.2      | 24.8 ± 4.2 | 6.7 ± 3.1 |
| Leche   | 48.6 ± 8.0      | 17.7 ± 5.6      | 17.9 ± 4.2      | 51.1 ± 5.3      | 12.4 ± 3.6      | 9.8 ± 2.1       | 18.8 ± 5.0 | 5.9 ± 5.3 |
| Tuétano | 41.2 ± 5.1      | 21.7 ± 6.4      | 23.7 ± 4.4      | 45.6 ± 4.2      | 14.7 ± 5.3      | 13.8 ± 3.7      | 21.1 ± 4.3 | 4.4 ± 2.4 |
| Soporte | 65.2 ± 9.7      | 5.2 ± 0.2       | 9.7 ± 2.8       | 65.1 ± 10.7     | 5.2 ± 1.2       | 8.1 ± 0.6       | 27.0 ± 7.7 | 0.3 ± 0.2 |

Nota: Concentraciones elementales expresadas como porcentaje masa/masa. I: *imaging*; E: espectrorradiómetro.

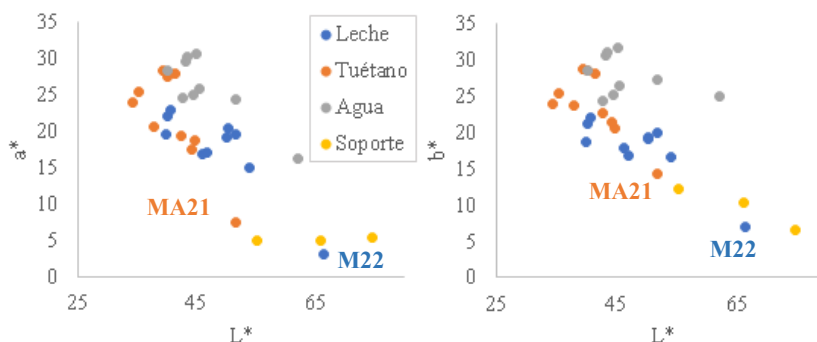
**Tabla 2:** Promedios y desviaciones estándar de los parámetros L\*, a\* y b\* y de las concentraciones de Ca y Fe en las cuatro clases.

Como se puede ver en la Fig. 3, los niveles de L\* de *imaging* son más bajos, y los de a\* y b\* más altos de los obtenidos mediante el espectrorradiómetro ( $\Delta E^* = 11 \pm 3$ ), debido probablemente a limitaciones del dispositivo de captura [6]. Sin embargo, los datos de las dos técnicas están fuertemente correlacionados ( $R^2 = \sim 0.9$ ). Esto indica que el *imaging* podría ser útil para llevar a cabo la comparación de características colorimétricas entre muestras de este tipo, aunque haría falta una calibración con patrones de referencia para obtener datos más fiables.



**Figura 3:** Comparación entre los parámetros L\*, a\* y b\* obtenidos por espectrorradiómetro y *imaging*.

Como se puede observar en la Fig. 4, los soportes y los puntos de solo aglutinante orgánico (M22 y MA21) se distinguen de los recuadros pintados debido a su mayor L\* y menor cromaticidad. Las pinturas hechas con agua tienen en muchos casos unas relaciones a\*/L\* y b\*/L\* mayores de las hechas con aglutinante orgánico, mientras que las hechas con leche tienen en la mayoría de los casos niveles más bajos de b\* y mayor L\*, quizás debido a las características de color de leche y tuétano [7-8] que se reflejan también en los puntos de solo aglutinante.



**Figura 4:** Diagrama de L\* vs a\* (izquierda) y L\* vs b\* (derecha) obtenidos por *imaging*.

En cuanto al análisis multielemental, el soporte es caracterizado por niveles más altos de Ca, el elemento mayoritario en las rocas carbonatadas, respecto a los puntos de pinturas, mientras que estos últimos tienen niveles más altos de hierro, el elemento mayoritario del pigmento.

Como se puede observar en la Tabla 3, el parámetro L\* tiene correlación positiva con el Ca, elemento del soporte, y negativa con el Fe, elemento del pigmento. Tanto a\* como b\* tienen correlación positiva con el Fe.

|    | L*     | a*     | b*     |
|----|--------|--------|--------|
| Ca | 0.547  | -0.127 | -0.047 |
| Fe | -0.628 | 0.683  | 0.581  |

Nota: Los valores tachados no son estadísticamente significativos ( $p > 0.05$ ).

**Tabla 3:** Coeficientes de correlación de Pearson ( $r$ ) entre las concentraciones elementales y los parámetros de color de *imaging*.

Estos datos indican que las superficies en las cuales se ha empleado más pigmento tienen mayores  $a^*$  y  $b^*$ , y menores  $L^*$ , debido probablemente a la mayor capacidad cubriente de la capa pictórica respecto al soporte.

#### 4. Conclusión

Los resultados del presente trabajo muestran que el *imaging* de fotos de smartphone es un método prometedor para efectuar el análisis colorimétrico de pinturas rupestres. Los resultados sugieren que podría ser empleado en sondeos preliminares de conjuntos de arte rupestre para plantear análisis sucesivos e identificar pinturas hechas con técnicas y materias primas diferentes.

#### Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación recibida por la Consellería de Educación, Cultura y Deporte de la Generalitat Valenciana para el proyecto Prometeo “Smartphone y Química Analítica Verde” (PROMETEO 2019-056). Gianni Gallelo agradece la ayuda Beatriz Galindo (BEAGAL18/00110) financiada por el Ministerio de Ciencia e Innovación y el Ministerio de Universidades del Gobierno de España. Esther López-Montalvo agradece la financiación recibida en el marco del proyecto MACOPREH MITI-CNRS (2017-2019). Los autores agradecen Lidia Herreros Chavez y Sonia Rubio Barberá por su contribución en la investigación.

#### Bibliografía

- [1] C. Roldán, S. Murcia-Mascarós, J. Ferrero, V. Villaverde, E. López, I. Domingo, R. Martínez, P.M. Guillem, Application of field portable EDXRF spectrometry to analysis of pigments of Levantine rock art, *X-Ray Spectrom.*, **39**, p. 243 (2010).
- [2] À. Pitarch, J.F. Ruiz, S.F.O. de Vallejuelo, A. Hernanz, M. Maguregui, J.M. Madariaga, In situ characterization by Raman and X-ray fluorescence spectroscopy of post-Paleolithic blackish pictographs exposed to the open air in Los Chaparros shelter (Albalate del Arzobispo, Teruel, Spain), *Analytical Methods*, **6**, p. 6641 (2014).
- [3] E. López-Montalvo, C. Roldán, E. Badal, S. Murcia-Mascarós, V. Villaverde, Identification of plant cells in black pigments of prehistoric Spanish Levantine rock art by means of a multi-analytical approach. A new method for social identity materialization using chaîne opératoire, *PLoS One*, **12**, e0172225 (2017).
- [4] J.F. Ruíz, J. Pereira, The colours of rock art. Analysis of colour recording and communication systems in rock art research. *J. Archaeol. Sci.*, **50**, p. 338 (2014).
- [5] J. Malo, M.J. Luque, COLORLAB: a color processing toolbox for Matlab (2002). <https://www.uv.es/vista/vistavalencia/software/colorlab.html>
- [6] F.M. Martínez Verdú, Diseño de un Colorímetro Triestímulo a partir de una cámara CCD-RGB (Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, 2001).
- [7] V.A. Solah, V. Staines, S. Honda, H.A. Limley, Measurement of Milk Color and Composition: Effect of Dietary Intervention on Western Australian Holstein-Friesian Cow's Milk Quality, *J. Food Sci.*, **72**, p. S560 (2007).
- [8] R.A. Mancini, M.C. Hunt, K.A. Hachmeister, D.H. Kropf, D.E. Johnson, Exclusion of oxygen from modified atmosphere packages limits beef rib and lumbar vertebrae marrow discoloration during display and storage, *Meat Sci.*, **69**, p. 493 (2005).

# La historia del color como referente para nuevos diseños: un viaje en el tiempo

Irene de la Torre Fornés<sup>1,2\*</sup>, Juan Serra Lluch<sup>1</sup>, Ana Torres Barchino<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica de la UPV. Camino de Vera s/n. 46022 Valencia.*

<sup>2</sup>*Grupo de Investigación del Color del Instituto de Restauración del Patrimonio UPV. Dirección*

<http://grupocolor.webs.upv.es/WEB/>

**Resumen:** Las características del color en una época determinada, referido a diversos ámbitos tales como la arquitectura, la literatura, la psicología, la filosofía, la ciencia, el vestuario y los artefactos, entre otros, se propone como parámetro para acometer el diseño de producto y espacio. Así, el conocimiento de estas características cromáticas en un momento histórico dado, se suma a otros parámetros proyectuales ya validados, como pueden ser el análisis contextual del objeto o espacio en cuestión y el perfil del usuario al que dichos diseños se van a destinar. De esta forma, la reinterpretación de estas referencias cromáticas, extraídas de un período determinado y aplicados a un nuevo escenario y programa de necesidades, puede resultar una fuente de inspiración para la ideación de propuestas actuales de diseño, ofreciendo proyectos de interés.

## 1. Introducción

Desde el Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica de la Universitat Politècnica de València UPV se imparte una serie de asignaturas, en Grado y Máster, centradas en el estudio del color y sus aplicaciones en el campo de la arquitectura y el diseño [1]. En recientes cursos académicos, se ha establecido un objeto de trabajo común entre las asignaturas “Color Control for Products”, perteneciente al Máster Universitario en Ingeniería del Diseño, y las asignaturas “Color y Diseño de espacios: ergonomía visual y accesibilidad” y “Diseño de arquitecturas efímeras: interacción con el medio y el entorno”, pertenecientes al Máster de Arquitectura Avanzada, Paisaje, Urbanismo y Diseño. El trabajo se centra, por un lado, en el diseño de pizas cerámicas pensadas para edificios emblemáticos de la ciudad de Valencia y, por otro, en el diseño de un pabellón expositivo para muestra de productos cerámicos en ferias internacionales. Esta doble vertiente de diseño -de producto y de arquitecturas efímeras- se lleva a cabo con la colaboración de la empresa cerámica TAU, que aporta la visión comercial y los recursos técnicos para materializar los proyectos. Si bien el análisis del contexto se plantea como herramienta fundamental para abordar el diseño [2], en el presente curso académico se ha introducido el estudio de las características del color en distintas épocas como otra variable a considerar en la generación de las propuestas.

## 2. Un viaje en el tiempo: el estudio del color a través de distintas épocas

Se toma como referencia la clasificación temporal que se establece en la colección “A Cultural History of Color” [3], que comprende 6 períodos históricos, cada uno de ellos estudiados en uno de los tomos de la colección: la Antigüedad, la Edad Media, el Renacimiento, la Ilustración, la Era Industrial y la Edad Contemporánea. Para cada periodo, la colección incluye un estudio del color y sus características en distintas manifestaciones culturales: filosofía y ciencia, tecnología y comercio, poder e identidad, religión y rituales, cuerpo y ropa, lenguaje y psicología, literatura y artes de interpretación, arte, arquitectura e interiores, y artefactos.

En el caso del diseño de piezas cerámicas, propuesto desde la asignatura “Color control for Products”, cada grupo de trabajo escoge un edificio perteneciente a cada una de estas épocas, de manera que las conclusiones estudiadas en el período correspondiente se incorporan como parámetro proyectual. Así, por

\* e-mail: irdela@ega.upv.es

ejemplo, la propuesta “Malagma”, ideada para el Palacio del Marqués de Dos Aguas -monumento enmarcado, en líneas generales, en el período de la Ilustración- recoge los conceptos relacionados con el cromatismo de su época, sumados a los contextos físicos y funcionales (Fig. 1), para alcanzar el resultado final (Fig. 2).



**Figura 1:** La referencia histórica del color en la época de la Ilustración: interior del Palacio del Marqués de Dos Aguas.

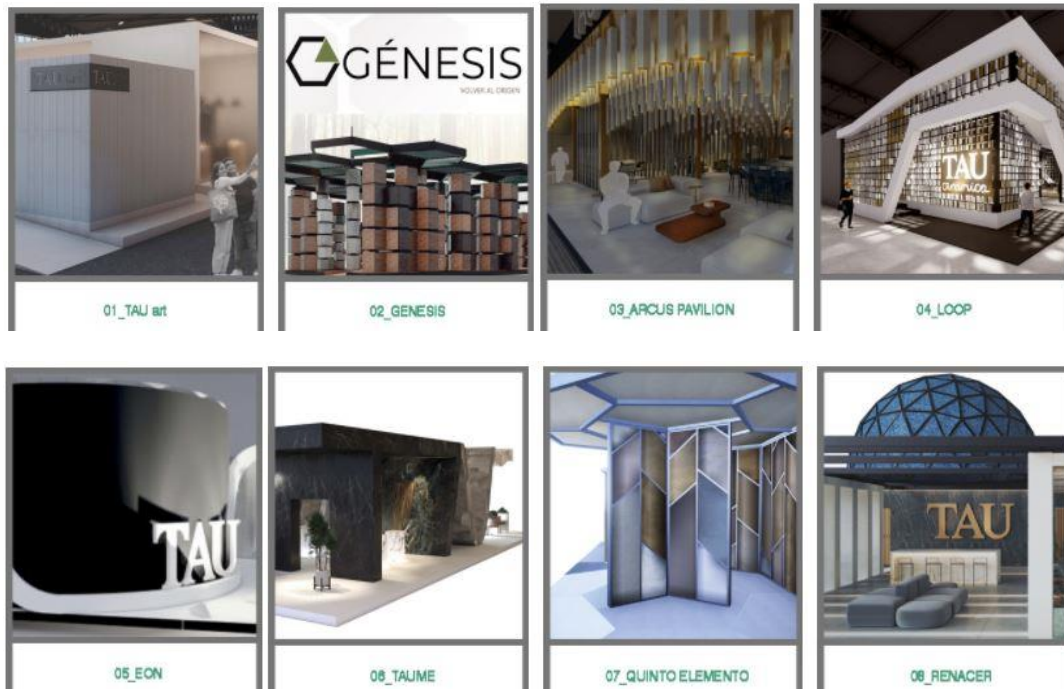


**Figura 2:** Diseño final de la pieza “Malagma” (izquierda) y fotomontaje (derecha).

Pueden consultarse todas las propuestas en [https://colorcontrol.blogs.upv.es/category/2021-2022\\_a-journey-through-time/](https://colorcontrol.blogs.upv.es/category/2021-2022_a-journey-through-time/)

En el caso del diseño de un pabellón para exposiciones, dirigido desde las asignaturas “Color y Diseño de espacios: ergonomía visual y accesibilidad” y “Diseño de arquitecturas efímeras: interacción con el medio y el entorno”, la aproximación creativa tomando como *leitmotiv* el tiempo es algo más conceptual, y los resultados se concretan a partir de la formalización de ciertas ideas inspiradas por este lema (Fig. 3). Tal es el caso de la propuesta “Loop” que, con alusión a la cinta de Möbius (objeto no orientable donde

interior, exterior, arriba, abajo, derecha e izquierda no tienen ningún sentido establecido), se convierte en un vacío con forma de anillo, dentro del cual el tiempo se curva hacia atrás sobre sí mismo permitiendo nuestro desplazamiento continuo entre pasado, presente y futuro. Se juega con dos paletas cromáticas: una gama de menor valor y saturación, de tonos cálidos, vista en un sentido del recorrido, contrastada con una gama de mayor valor y saturación de tonos fríos, vista en el sentido contrario, jugando así con las degradaciones cinéticas y la percepción del movimiento. La propuesta que tiene por lema *TAU art*, nos invita a pasear por el interior de un museo, como lugar privilegiado para viajar en el tiempo. Cada obra de arte nos remite a un periodo y un artista representativos de nuestra cultura contemporánea. La propuesta *Genesis* viaja en el tiempo para regresar a un origen primigenio, a ese tiempo cuando el espacio habitado por la humanidad era el bosque. Una naturaleza entendida de modo conceptual a través de la geometría del hexágono, que pretende brindar una pausa, un descanso. El tiempo puede detenerse, para dilatarse eternamente, *Arcus Pavilion* propone un espacio burbuja en el que las referencias formales son atemporales, es decir son tan actuales como antiguas. La referencia al arco en latín, remite a una solución constructiva y a una etimología que es la base de nuestra cultura arquitectónica actual y de muchas de nuestras lenguas modernas. En el pabellón *Loop* el tiempo se interpreta como un continuo “eterno retorno,” en el que la realidad parece repetirse y recrearse de modo similar, aunque nunca idéntica, con la sugerencia formal de una cinta de Möbius que puede recorrerse sin principio ni fin. El tiempo se mide de manera exacta con un reloj. *Eon* reinterpreta los engranajes que componen la mecánica de un reloj como referencia formal para el diseño del pabellón. *Taume* propone un viaje distinto, que recorra la historia de la empresa TAU. Enfatizar la imagen de marca de su propia tipografía es otra manera de invitar a viajar hacia el futuro y destacar los valores que les han hecho ser pioneros en el sector cerámico. El proyecto *Quinto elemento* nos invita a viajar a los orígenes de toda pieza cerámica, surgida a partir de la transformación de los cuatro elementos de la naturaleza: tierra, agua, aire y fuego. Los cuatro elementos ordenan y zonifican el pabellón, creando espacios de exhibición y otros más privados. Estos, envuelven un espacio central donde se fusionarán conformando TAU, el “quinto elemento”. Es una experiencia que pretende crear ambientes combinando la calidez de la tierra, la vibración del fuego, el movimiento del agua y lo etéreo del aire. Y por último, *Renacer* es una invitación a renacer en el tiempo y brinda un homenaje al Renacimiento italiano, de modo abstracto, se reinterpreta



**Figura 3:** Diversos diseños de pabellones para exposiciones. ). Pueden consultarse todas las propuestas en [https://coloryarquitecturasefimeras.blogs.upv.es/2022\\_-concurso-stand-tau-un-viaje-en-el-tiempo/](https://coloryarquitecturasefimeras.blogs.upv.es/2022_-concurso-stand-tau-un-viaje-en-el-tiempo/)

### 3. Conclusiones

Todas estas experiencias de diseño han sido mostradas en una exposición común a las tres asignaturas, bajo el título “Un viaje en el tiempo” (Fig. 4), que ha tenido lugar en el Hall de la Escuela Técnica Superior en Ingeniería del Diseño y, posteriormente, en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura. El hecho de colaborar con una empresa del sector cerámico ha posibilitado materializar las baldosas diseñadas, ajustando los tonos finalmente empleados al *gamut* facilitado por ésta [4]. El trabajo ha culminado con la concesión de 4 premios en total, a las categorías de “diseño de un pabellón expositivo” y “diseño cerámico”, otorgados por dicha empresa y contando como miembros del jurado a los directores de las Escuelas y Másteres implicados.

La calidad de los resultados nos anima a seguir trabajando, en colaboración con empresas y organismos públicos, para aportar los conocimientos cromáticos en la búsqueda de soluciones creativas y útiles y que supongan un aliciente en la formación del alumnado.



Figura 4: Cartel de la exposición “un viaje en el tiempo”

#### Agradecimientos:

Agradecemos a la empresa TAU Cerámica su colaboración con esta iniciativa, ofreciendo la infraestructura necesaria para desarrollar los prototipos cerámicos y premiando los mejores diseños de piezas cerámicas y pabellones expositivos. Así mismo, agradecemos a la Escuela Técnica Superior de Arquitectura y a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño haber puesto a disposición de las asignaturas el espacio de exposición de trabajos del alumnado. Finalmente, agradecemos a todo el alumnado su entusiasmo y esfuerzo en el trabajo realizado.

#### Bibliografía

- [1] Enlace de asignaturas impartidas: [https://grupocolor.webs.upv.es/?page\\_id=2863](https://grupocolor.webs.upv.es/?page_id=2863).
- [2] J. Serra Lluch, I. de la Torre Fornés, A.Torres Barchino “La lectura del contexto como estrategia de aplicación del color en el diseño del producto”. XI Congreso Nacional del Color. Ourense (2016).
- [3] C. P. Biggam, K. Wolf, *A Cultural History of Color* (Bloomsbury Academic, 2021).
- [4] I. de la Torre Fornés, J. Serra Lluch, A.Torres Barchino “Experiencias docentes de aplicación del color en el diseño de piezas cerámicas”. XII Congreso Nacional del Color. Linares (2019).

## Experiencias cromáticas en la docencia del Diseño 2020

Torres Barchino Ana<sup>1</sup>, Cortina Maruenda Javier<sup>1</sup>, Cabodevilla-Artieda Ignacio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica. Universitat Politècnica de València.*

*Grupo de Investigación del Color en Arquitectura.*

<https://grupocolor.webs.upv.es>

**Resumen:** El estudio del color en las escuelas de diseño se remonta a los orígenes de esta disciplina. La Escuela de la Bauhaus y la Escuela de Ulm acogieron a los principales investigadores y docentes en el campo de color aplicado al diseño y a la arquitectura. En la actualidad, en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño (ETSID) de la Universitat Politècnica de València, la docencia del color como materia nuclear se desarrolla en tres asignaturas. Este artículo pretende reflejar y analizar las experiencias docentes y resultados que la asignatura “Color en Diseño de Producto y Entorno” generó en el año 2020.

### 1. Diseño y color, color y diseño

Diseñar, disegñare, di-segnare, designar. Palabras todas ellas que sobrevuelan la etimología del concepto diseñar. Poner un signo, separar, destacar del resto, señalar. El trabajo del diseñador se aleja del de artista caprichoso y del de artesano gremial. Así, la introducción del diseño en la creación de objetos y de espacios procura la unión de ambos mundos, el funcional y el estético. ¿Qué sentido tendría un objeto que no cumpliera la función para la que ha sido creado? ¿Qué hay más funcional y que llene más el alma que el placer estético que genera la observación un objeto bello?

Desde luego, según nuestro parecer, no existe diseño sin función, no existe diseño sin belleza y, podríamos añadir, no existe ninguna de las dos sin tener en cuenta el color.

Como indicamos en el resumen, los orígenes de la formación reglada del diseño se remontan a la ya extensamente estudiada Escuela de la Bauhaus, que inició su andadura en Weimar en 1919, y cuyas enseñanzas se extienden mucho más allá de lo que la simple traducción de su nombre podría hacer suponer. La Bau (construcción) Haus (casa) abarcó no solamente el diseño de la arquitectura, sino que hizo un especial énfasis en el diseño gráfico e industrial. Acabada esta etapa, treinta años más tarde y con una Guerra Mundial de por medio, será Alemania la que de nuevo tome el protagonismo de la docencia en diseño. La Escuela de Ulm o Escuela Superior de Proyección tomará posteriormente el relevo de la Bauhaus, incluso superándola en algunos campos [1].

En ambas escuelas, sus principales protagonistas han sido al mismo tiempo protagonistas en el uso del color. Ambas instituciones no sólo han progresado en el conocimiento sobre materiales, composición y producción industrial, sino que han sido el germen y el centro fundamental de desarrollo de las principales teorías sobre el empleo del color. Personalidades como Joseph Albers [2], Wassily Kandinsky [3] o Paul Klee [4], todos ellos profesores de la Bauhaus, a los que resulta innecesario presentar en relación con el estudio del color, son una buena muestra de ello. Posteriormente, durante la época en que la Escuela de Ulm estuvo activa, Max Bill pintor (Figura 1), artista, diseñador de tipografías y arquitecto, entre otros oficios, continuó y evolucionó los aprendizajes que obtuvo de sus maestros.



**Figura 1:** Die grafischen Reihen. Max Bill.

No parece que sea casual por tanto que dos de las grandes Escuelas de Diseño de la historia de esta disciplina hayan sido igualmente referentes en el estudio del color en el campo de las artes. Color y diseño no se pueden entender el uno sin el otro.

Entendido este contexto y la importancia histórica que tiene para nuestra disciplina el uso del color, en la asignatura “Color en Diseño de Producto y Entorno” se plantean todos los años a los alumnos diversos ejercicios prácticos para que experimenten con el uso del color. Este empleo de ejemplos prácticos con imbricación directa en la realidad ya se trataba en las escuelas antes citadas, estableciéndose una continuidad en la enseñanza. Color, diseño, ejercicios enfocados en la realidad y en la industria serían algunos de los puntos en común. De manera particular, en esta comunicación presentaremos los resultados de uno de los ejercicios desarrollados por los alumnos en el curso 2020/21.

## 2. Diseñando en color

Durante el curso 2020 - 2021 se propuso a los alumnos la participación en el concurso internacional de ideas que promueve cada año la empresa Cosentino. Esta empresa es un referente mundial en la fabricación de piedras artificiales para la construcción, utilizadas tanto para la creación de mobiliario como para el recubrimiento de todo tipo de superficies interiores y exteriores como pavimentos o fachadas.

En su 14ª edición [5], Cosentino planteó un concurso de diseño de bases muy abiertas, en el que proponía a los alumnos diseñar tomando como temática el título “Cosentino y la tradición local”. El empleo de sus materiales para poder concursar, como es lógico era obligado.

En la asignatura se fomentó la participación de los alumnos en el concurso, como si de una primera práctica profesional se tratara, y se acotó el enunciado genérico que planteaba el fabricante al de un elemento básico de diseño, un biombo o pieza separadora, con el objetivo de que el ejercicio fuera viable pedagógicamente y asumible por parte de los alumnos en el tiempo asignado para ello.

Como es lógico, el color debía ser un elemento protagonista. Así mismo, con la idea de fomentar la investigación artística y facilitar la inspiración, cada uno de los alumnos debía tomar a un artista como referente para su trabajo y germen del diseño. La propuesta debía formalizarse por medio de un único panel con un formato normalizado Din-A1. Esta, casi primera práctica profesional, se complementó con una visita a las instalaciones del fabricante en la que los estudiantes pudieron conocer y familiarizarse con los materiales a su disposición para realizar el trabajo.

La alumna Laura Junco, en su diseño de elemento separador titulado “Creta” (Figura 2), se inspira en la obra pictórica y escultórica del artista Lucio Fontana, en la experimentaba con los límites del espacio, y la representación del movimiento y el tiempo que éste genera. Sus piezas de separación, con un eje vertical que las hace móviles, por medio de rasgaduras, como hacia el propio Lucio Fontana, permiten descubrir las diferentes capas y materiales que conforman el elemento propuesto.



Figura 2: Creta. Autora: Laura Junco. Izquierda Posibles variaciones. Derecha caso concreto.

El proyecto de Jokin Urteaga, titulado “Geruzak” (Figura 3), se inspira en la tradición escultórica del País Vasco, basada en una tradición artesanal de trabajo de la piedra y el metal, y en una obra de Jean Michel Basquiat (Untitled), perteneciente a su serie Heads.

Plantea un elemento separador compuesto por cuatro capas de distintos colores (amarillo, rojo y dos tonalidades de gris), proporcionando una mayor presencia al material denominado Orix. La composición formal de los diferentes elementos utiliza las geometrías de Basquiat, relacionando la altura de los 100 edificios más altos de Manhattan y de las 80 montañas de mayor altura del continente africano en los cantos de las piezas, generando un perfil aleatorio.



Figura 3: Geruzak. Autor: Jokin Urteaga.

Beatriz Martín Herrero, para su diseño “Petra”, se inspira en la artista contemporánea Sarah Morris pintora y cineasta estadounidense cuyo trabajo se centra en la identificación y análisis de tipologías urbanas, sociales y burocráticas (Figura 4 izquierda). El proyecto de esta alumna evoca el arte del plegado manual, transfiriendo al espacio la percepción de los elementos hechos a mano; genera una escultura insertando una serie de lascas de piedra en una estructura móvil horizontal de aluminio, y combina las lascas verticalmente con una cuerda de material biodegradable natural, siguiendo un patrón japonés de encuadernado, y permitiendo la variación del objeto y adaptación a múltiples entornos y diversas interpretaciones; así, como si de un libro se tratase, las diferentes hojas de piedra se mueven en torno a un eje vertical. El cuidado diseño de la bisagra permite fácilmente el movimiento de las piezas sin deteriorarlas.

Con el objetivo de potenciar la variación de la percepción y enfatizar las distintas sensaciones se ha utilizado una paleta de color que va desde el blanco al negro, añadiendo los tonos ocres y marrones disponible en el catálogo de Cosentino. Para el orden compositivo se basa en la proporción de la pintura Umm Al Nar de Sarah Morris.

“Peyote” es el biombo flexible de formas curvas que, inspirado en técnicas y colores tradicionales de los tejidos mejicanos, propone Line Blom Salvesen (Figura 4 derecha). El peyote, además de un cactus con propiedades alucinógenas, es una técnica utilizada por los Huichol, un pueblo indígena de la sierra central de México. Este grupo étnico emplea patrones geométricos basados en la naturaleza usando colores vivos.

Para este biombo, la alumna emplea pequeñas piezas de 8 × 10 cm que se disponen siguiendo un patrón en un entramado de cables de acero. Los cables de acero permiten que el biombo adopte una forma curva o recta a voluntad. Así, de las múltiples posibilidades que permite el sistema, la alumna desarrolló tres que tituló La Boa, La tradición, y El Paisaje.

En las dos primeras composiciones, partiendo de un módulo básico de 151 cm de longitud y 216 cm de altura, propone planos rectos u ondulados que se pueden extender con la adición de nuevos módulos, facilitando su adaptación a espacios de diversos tamaños. La paleta de colores utilizada es muy amplia, aprovechando los distintos materiales disponibles (Dekton, Silestone y Scalea), incluyendo el blanco, negro, diferentes tonos de gris, azul, amarillo y ocres. Se refuerza de esta manera la abstracción y la lectura del patrón geométrico.

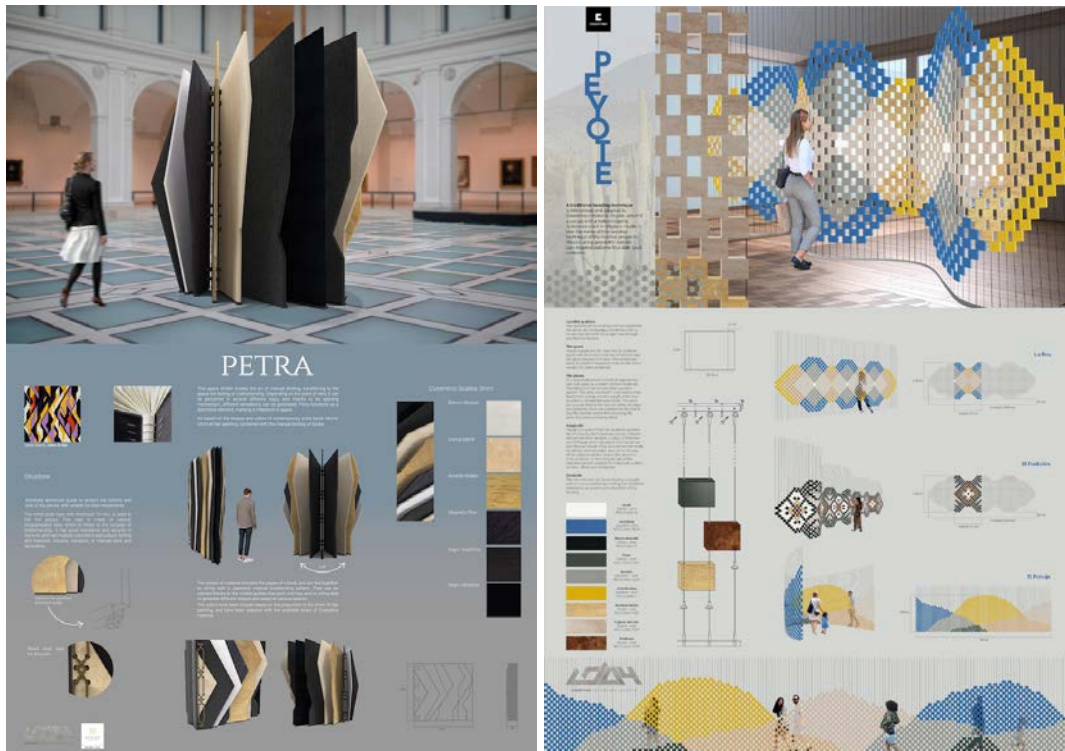


Figura 4: Q ~ a la a a d a E q i a k O a a A a d E O ^ ^ & Q a U ^ [ e ^ E q i a k S a ^ O ] { E A

El último biombo desarrollado por esta alumna representa un paisaje montañoso utilizando los mismos materiales y colores, y está concebido como separador de dos espacios o creador de uno propio envolviendo al ocupante del espacio en que se instala.

Estos ejercicios demuestran la creciente preocupación e interés de los planes de estudio que se desarrollan en la Escuela de Diseño de la UPV por la formación en el ámbito del color. Se reivindica así la tradición en la formación en color que la carrera de Diseño ha tenido desde sus orígenes, especialmente en la línea dedicada a la creación y montaje de instalaciones artísticas a través del análisis crítico del papel que el color desempeña en el diseño contemporáneo, ampliando el repertorio de posibilidades plásticas del alumno, y del desarrollo experimental de los propios diseños.

**Agradecimientos:** Agradecemos y felicitamos a los alumnos de la asignatura “Color en Diseño de Producto y Entorno” por la calidad de los trabajos realizados.

**Bibliografía**

- [1] A. Torres Barchino, J. Serra Lluch, I. de la Torre, *Lecciones de color en el diseño: aplicaciones cromáticas con valor artístico*, Todo sobre diseño. Una década de exposiciones de diseño en la Sala Hall (Universitat Politècnica de València, Valencia, 2021)
- [2] J. Albers, *La interacción del color* (Alianza Editorial, Madrid, 1982).
- [3] J. Serrano, *De lo espiritual en el arte* (Alianza editorial, Madrid, 1981)
- [4] M. Lancaster, *Colourscape* (Academy Editions, London, 1996).
- [5] <https://cosentinodesignchallenge.org/cosentino-design-challenge-14-anuncia-sus-proyectos-ganadores-y-consolida-su-crecimiento-internacional-cosentino-design-challenge-14-announces-the-winning-projects-and-strengthens-its-international/>

## Educar la mirada. Dibujo y color del paisaje urbano en el cerramiento de obra de la restauración de la torre de San Bartolomé de Sevilla

María Dolores Robador González<sup>1\*</sup>, Fernando López Barrau<sup>1</sup>, Domenico Debenedictis<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Sevilla

**Resumen:** La restauración y recuperación cromática de la Torre de San Bartolomé del antiguo barrio judío de Sevilla ha sido ocasión de arte urbano para “mirar, dibujar y compartir”. Una experiencia para acercar el patrimonio arquitectónico al público que, de lo contrario, probablemente hubiera pasado de largo sin tomar conciencia de su peso histórico y artístico, con tantos signos que evidencian la estratigrafía del tiempo, el progreso de un barrio y el desarrollo de sus habitantes. Todo empezó con diálogos entre el paisaje urbano de San Bartolomé y los autores de la restauración cuyo postulado era conocer para intervenir en el patrimonio cultural constituido por bienes tangibles, intangibles y naturales. Cuando se colocaron los andamios y el cerramiento en torno a la torre se aprovechó este lienzo improvisado en el que *Urban sketchers* y niños dejaron constancia de su mirada con acuarelas. La experiencia del dibujo y el color fue inolvidable.

### 1. Diálogos con el paisaje urbano de San Bartolomé

La UNESCO define paisaje urbano histórico como la *zona urbana resultante de una estratificación histórica de valores y atributos culturales y naturales, lo que trasciende la noción de “conjunto” o “centro histórico” para abarcar el contexto urbano general y su entorno geográfico*<sup>1</sup>. Constituye el espacio en el que transcurre la vida de los habitantes, representa el carácter de un lugar que no debe ser desnaturalizado sino más bien necesita acciones que lo acompañen en su adecuada evolución de acuerdo a la identidad y carácter de estos lugares en los que el tiempo ha superpuesto diversas culturas con sus manifestaciones arquitectónicas, resultando un rico lienzo entretejido de historias personales y memoria colectiva [1].



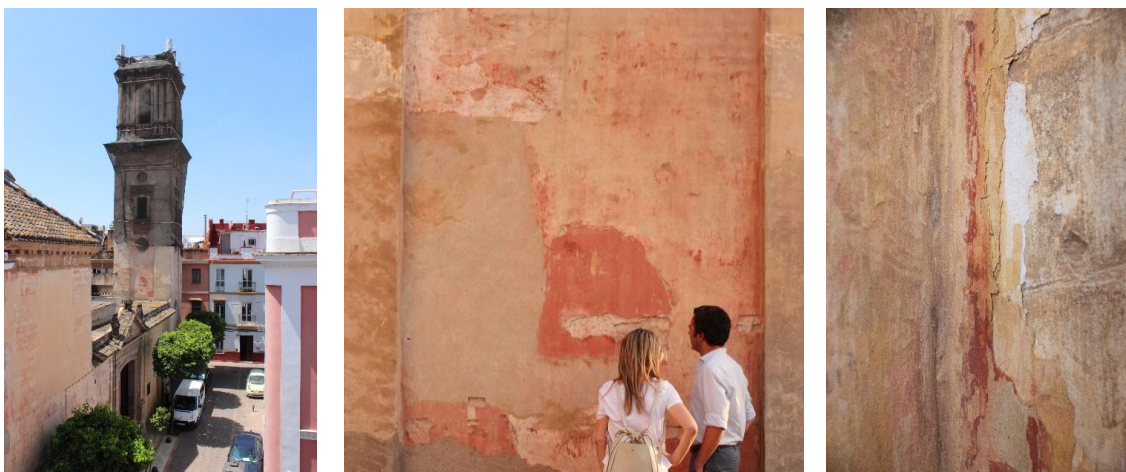
**Figura 1:** Paisaje urbano del barrio de San Bartolomé. Arquitectura, naturaleza, formas, texturas y colores. Materiales naturales como la cal y los pigmentos minerales hacen posible una sutileza en la gama cromática y una luminosidad que se traduce en belleza.

El estudio del lugar se inició caminando, observando y pensando a un tiempo, en diálogo con el resto de edificios, dejando que hablase el paisaje, recibiendo información en la mente captada por los ojos a través de la luz, que la mano traducía en dibujo y color. La percepción se realizó a través de todos los sentidos. Además del tacto y el oído, fue la vista el prioritario, para intentar describir la forma objetiva del paisaje en diferentes perspectivas y escalas de observación (desde la calle, desde lo alto de las azoteas de los edificios colindantes del barrio, sobre las cubiertas de la iglesia y desde el interior de la torre: visión introspectiva). Se tuvieron en cuenta otros elementos visuales como la paleta de colores y sus variaciones cromáticas con la luz de cada momento del día [2] (tonos rojos –almagra, cinabrio, terracota...–, amarillos –calamocho, dorado, melado...–, blancos –blanco de la cal, del azahar...–, azules –lapislázuli, azul cobalto...–, verdes –verde montaña, verde alegre de las hojas de los naranjos...–, los colores de la

\* e-mail: lolarobador@us.es

1. Recommendation on the Historic Urban Landscape UNESCO – HUL. Informes de la UNESCO del 2015 (Primer Informe) y del 2019 (Segundo Informe). <https://whc.unesco.org/en/hul/concursos.pdi.apo@upc.edu>

arquitectura en contraste con el azul intenso del cielo de Sevilla), las formas predominantes (rectas de los edificios, curvas de los pináculos, remates y cúpulas, así como las orgánicas de la vegetación –copas de los naranjos y ramificaciones de las plantas de las macetas, de las parras virgen y de las buganvillas...), las alineaciones que dirigen y enfocan la mirada hacia la torre, la textura de los diferentes elementos del paisaje, su densidad, regularidad o desorden. Todos estos elementos definen la parte manifiesta del paisaje, pero existe otra componente, una parte oculta, difícil de percibir solo a través de los sentidos. Llegar a conocer la parte secreta de un lugar comporta silencio, pensamiento; implica frenar la prisa, pararse a escuchar el susurro imperceptible de la voz del tiempo e intentar leer el espacio, el alma de un barrio, el paisaje urbano construido a lo largo de los siglos.



**Figura 2:** En las fachadas de los edificios históricos la estratigrafía del tiempo se ha plasmado en texturas y colores. La superposición de capas representa la historia cromática, la imagen y la esencia de cada época, el alma de un barrio, paisaje urbano construido a lo largo de los siglos. Caminar, observar, pensando a un tiempo, dialogando con los edificios.

## 2. Conocer para intervenir en patrimonio cultural. Bienes tangibles, intangibles y naturales

En el patrimonio cultural, *conjunto determinado de bienes tangibles, intangibles y naturales que forman parte de prácticas sociales, a los que se les atribuyen valores para ser transmitidos, y luego resignificados, de una época a otra, o de una generación a las siguientes*<sup>2</sup>, la toma de decisiones para la intervención requiere un conocimiento profundo del bien. Antes de intervenir se precisa observar y estudiar el propio bien, dibujar al natural para acercarnos de modo excelente al futuro objeto de la intervención. El dibujo facilita mirar despacio, reflexionar, apreciar las cosas pequeñas. Los estudios previos de la torre han ayudado a un riguroso diagnóstico que ha permitido definir los modos de intervención [3] [4]. La conservación patrimonial en la actualidad exige de enfoques y análisis multidisciplinares, pues son muchas las disciplinas que interactúan en el hecho patrimonial.

El descubrimiento de cualquier manifestación del patrimonio cultural puede surgir en algunos casos como algo “estremecedor”, como una atracción que marque un antes y un después, o como un conocimiento intuitivo que conecta de modo especial con nuestra sensibilidad: el descubrimiento de una ciudad, la fascinación ante una obra de arte determinada, el gusto por una manifestación de artesanía popular o por el modo de vivir unas tradiciones... etc. Sin embargo, hay un tipo de conocimiento que nace de la contemplación más sosegada, más reflexiva, desde el silencio y el cultivo del pensamiento, desde el respeto al bien cultural con la aspiración de transmitirlo con toda la riqueza de su autenticidad.

En la restauración de la torre, el sentido de pertenencia de los habitantes del barrio a su parroquia, corazón de la antigua judería de la ciudad, fue un activo esencial al iniciarse el proceso de intervención. Este “factor humano” aportó un conocimiento tan profundo del bien como los estudios previos. La restauración era algo de ellos y para ellos. El cerramiento de obra tenía que ser un reflejo artístico de expresión e interacción de ellos y para ellos, creando conciencia social sobre la importancia del paisaje urbano, el conocimiento y la recuperación de la estética, así como la participación ciudadana.

2 Servicio Nacional de Patrimonio Cultural. <https://www.patrimoniocultural.gob.cl>

### 3. Mirar, dibujar y compartir. La experiencia del dibujo y el color en el cerramiento de obra de la restauración de la torre

Al plantear el diseño del cerramiento de obra, se consideró que además de una explicación técnica del proceso de restauración era necesario que los paneles blancos se transformasen en fondo, telón y escenario de la expresión de los *urban sketchers* [5], plasmadores inigualables de la realidad urbana y de la mirada pura de los niños. Unos dibujaron el contexto del paisaje urbano y otros interpretaron la torre. Con los niños antes de dibujar en los paneles se realizó un ejercicio de educación de la mirada, de su sensibilidad artística y visión espacial, fomentando la creatividad e imaginación. Se les entusiasmó con la posibilidad de apreciar las luces incidiendo en los paramentos, con el cromatismo de la torre, enseñándoles a valorar los colores de la tradición constructiva sevillana. Fue una experiencia inolvidable.

El resultado fue una “activa participación ciudadana”: todo el mundo que pasaba por allí podía y debía opinar: ¿quedará la torre cómo nueva?, ¿se conservará algo de su personalidad?, ¿se recuperarán sus colores? Todos pudieron intuir un atisbo de la restauración con la contemplación del panel de obra, esta vez *urbansketchers* y niños eran quienes educaban la mirada a los demás. Un eterno retorno.



**Figura 3:** Cerramiento de obra de restauración de la torre: lienzo blanco decorado mediante instalación de *urban sketchers* y niños.



**Figura 4:** Los dibujantes dejan constancia de su mirada con las acuarelas. Éstas fueron protegidas con barniz y respetadas por los viandantes. A la derecha visión serial a la manera del arquitecto Gordon Cullen [6], que trata de describir las relaciones visuales tal y como son percibidas por cualquier ciudadano. Tres imágenes que representan el recorrido hacia la torre localizando así la visión particular y puntos de vista significativos, para comprender la percepción del entorno de una forma articulada y completa [7].

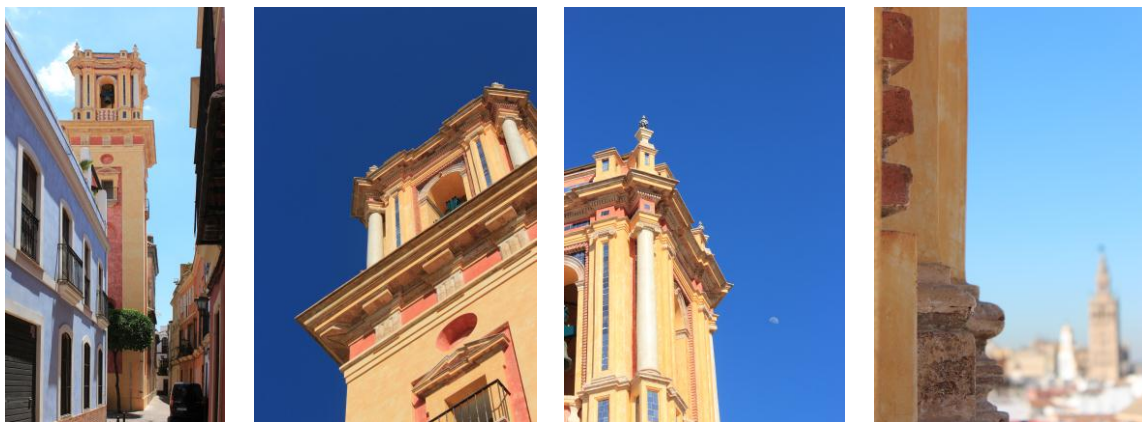


**Figura 5:** Los pequeños artistas dibujan con sus trazos proporciones, perspectivas, detalles, colorean... dejando constancia de su mirada sobre la parte inferior del cerramiento de obra. Los niños y niñas, desde que estrenan la vida, están ávidos de conocer infinidad de cosas. Quieren muy rápidamente aprender y descubrir todo lo que les rodea. Un niño es como una esponja. Y necesita que los mayores le guíen, acompañen y le transmitan experiencias, le abran las puertas al mundo. El dibujo es una puerta y ventana abierta a

la vida. Contribuye al desarrollo de áreas fundamentales: la motora, la cognitiva, la emocional, la creativa, la artística... Desarrolla la psicomotricidad fina y la coordinación ojo-mano, mejora la atención y la concentración, facilita el autoconocimiento, permite a los niños reflejar su comprensión del mundo y la realidad; es un medio de comunicación y expresión, canaliza emociones, fomenta la confianza, desarrolla su sensibilidad artística, visión espacial y cromática, y fomenta la creatividad y la imaginación.

#### 4. El alma del paisaje. Recuperación cromática de la torre y contribución a la identidad del barrio de San Bartolomé

La torre campanario, símbolo del paisaje urbano de San Bartolomé había visto apagar su luz con el paso del tiempo. La pérdida casi total de sus revestimientos había difuminado su sentido referencial en el contexto del barrio. La principal misión de la restauración fue recuperar su cromatismo, recuperar su luz. Por ello los actores que intervinieron en la restauración entablaron con paciencia diálogos con el paisaje. Con la experiencia del dibujo y el color se ha buscado una unión perfecta entre la luz, el color, el hombre y la naturaleza en el paisaje. Porque un paisaje urbano no está compuesto sólo por materia, arquitectura y naturaleza, sino también por elementos ocultos a nuestros sentidos. Un paisaje puede volver a conectarse con las personas, puede volver a emocionar.



**Figura 6:** Restauración y recuperación cromática de la torre de San Bartolomé, de Sevilla. Se buscó recuperar la autenticidad de la torre, valorizando los restos de color preexistentes y donde se habían perdido recreando el arte de pintar como pinta el tiempo. Promotor: Arzobispado de Sevilla. Arquitecto: María Dolores Robador González. Ejecución y Seguridad: Javier Villa Barbacid y Juan Muñiz Jiménez. Empresa restauradora: Marve.

**Agradecimientos:** Al proyecto PID 2020-115786 GB-100, financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033, a los *Urban Sketchers* José María Lerdo de Tejada, Alfonso García y Rafael Llácer, al Arzobispado de Sevilla y a la Parroquia de San Bartolomé.

#### Bibliografía

- [1] F. Doglioni et al., *Conoscenza e restauro degli intonaci e delle superfici murarie esterne di Venezia. Campionature, esemplificazioni, indirizzi di intervento*. Il Prato, Venezia, (2017).
- [2] M. D. Robador, “The light of cities. La luz y el color de las ciudades”, *Libro Comunicaciones Papers Book*, Editorial Universitat Politècnica de Valencia. pp. 2082 – 2089 (2015).
- [3] M. D. Robador, et al., “Investigation of the wall painting materials in the San Bartolomé church Façade (Seville)”, *European Journal of Science and Theology*, vol. 13/2, pp. 51 – 60, (2017).
- [4] M. D. Robador, et al., “Graphical Restoration of the Cupola of the Tower of San Bartolomé de Sevilla Based on Historical Photographs”, *Graphical Heritage (Vol.1–History and Heritage)*, Springer Series in Design and Innovation, Switzerland, pp. 323 – 332, (2020).
- [5] P. F. Enríquez, “Arte urbano para ‘mirar, dibujar y compartir’ San Bartolomé”, *Iglesia de Sevilla*, vol. 147, pp. 8-9 (2018).
- [6] C. Gordon, *El Paisaje Urbano. Tratado de estética urbanística*. Blume, Barcelona, (1981).
- [7] J. M. Lerdo de Tejada, *Menos es más. Dibujos*. HUM 976. Expregráfica. Lugar, Arquitectura y Dibujo, Universidad de Sevilla, Sevilla (2021).

## Protección, conservación y difusión de arquitecturas pintadas. Retos tecnológicos e internacionalización aplicada en la ciudad de Málaga

Š Ÿ !â^•ÄŸ[ ^ [ Åæææ Ÿ F\*Á

<sup>1</sup>*Departamento Historia, Teoría y Composición Arquitectónicas. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad de Sevilla*

[→ã~\]~M|bÈæbÁ](mailto:→ã~]~M|bÈæbÁ)

**Resumen:** Las arquitecturas pintadas constituyen un paisaje urbano que ha sido alterado con el pasar de los siglos y la sucesiva acumulación de nuevos instrumentos de planificación y gestión que los han abordado, como los Planes Generales de Ordenación Urbanística y los Planes Especiales de Protección, que si bien han posibilitado la garantía para prolongar su existencia hasta la actualidad, no siempre han tenido la capacidad de dar a conocer este valioso patrimonio al que nos acercamos. La aportación de la investigación que presentamos radica en la inclusión de las Nuevas Tecnologías a las arquitecturas pintadas de Málaga, donde aplicamos el esfuerzo por dar a conocer tan valioso potencial cultural de manera aplicada al sector del turismo sostenible, recuperando el patrimonio disperso y cualificando los entornos urbanos definidos al abrir nuevas tematizaciones dentro de los itinerarios culturales alternativos. Nuestro caso de estudio y proyecto se aplica a las arquitecturas pintadas de Málaga y es resultado del proyecto de investigación concedido por la Universidad de Málaga en el año 2021 [1].

**Palabras clave:** arquitectura, patrimonio, cultura, turismo, tecnología, educación, sostenibilidad,

**Keywords.** architecture, heritage, culture, tourism, technology, education, sustainability,

### 1. Los centros históricos y su conservación

Los rápidos avances en la tecnología y la comunicación, así como determinados efectos provocados por la masificación, interrelación y homogeneización de las culturas actuales [2] han propiciado la pérdida del carácter identitario que se evidenciaba anteriormente en determinados espacios urbanos. No obstante, "a pesar de la difuminación de los rasgos distintivos dentro de la cultura actual, de base esencialmente occidental, subsisten todavía núcleos con ciertas peculiaridades y características que lo hacen fácilmente diferenciables, a la vez que relacionables con ese entorno mayor en el que permanecen y evolucionan" [3]. Los centros históricos de las ciudades se corresponden con estos reductos urbanos que mantienen su carácter singular, permaneciendo como restos de la memoria viva de la identidad de las ciudades, puesto que "en la ciudad, el centro histórico se configura como paradigma de nuestros antecedentes de todo tipo, nuestro pasado, la herencia y el largo recorrido hasta hoy", siendo uno de sus valores más interesantes la "fidelidad a su pertenencia: su pertenencia a una geografía, a un paisaje, a unas coordenadas dentro de los grandes territorios", lo cual queda reflejado, entre otras cosas, en un uso determinado del color y la materia. En este sentido, la recuperación del patrimonio arquitectónico y urbano en los centros históricos se ha convertido en un trabajo prioritario, "adquiriendo gran valor como producto cultural para las ciudades por ser soporte de identidades locales e importante baza para el crecimiento" [4]. Siendo esto así, la recuperación de los centros históricos y su conversión en destinos turísticos posiciona a las ciudades ante nuevos usos como espacios urbanos que deben transformarse para cumplir objetivos culturales y turísticos asociados a los valores de la ciudad histórica. Sin embargo, la delgada y delicada línea que separa el disfrute turístico y por ende aquellos efectos positivos recibidos, también generan una serie de cuestiones oscuras y negativas asociadas esta vez a fenómenos como la turistización del patrimonio y la ciudad histórica.

En lo que se refiere al papel del color en el proceso de recuperación patrimonial de los centros históricos, el legado cultural de fachadas pintadas se encuentra representado en un amplio territorio del

\* e-mail: [→ã~\]~M|bÈæbÁ](mailto:→ã~]~M|bÈæbÁ)

centro, norte y sur de Europa. En una aproximación a las diferentes áreas territoriales de Italia, España y Centro Europa puede “advertirse la importancia que ha tenido la integración de estas arquitecturas pintadas, haciéndolas partícipes de la construcción histórica de su imagen urbana” [5]. No obstante, salvo en contadas excepciones, no se muestra en los planes de rehabilitación urbana demasiado interés por este patrimonio cultural. La recuperación y conservación de estos espacios debería hacerse propiciando la comprensión y preservación de los principios que subyacen en la propia imagen de la ciudad. Este hecho es el que impone la necesidad de establecer una metodología científica de estudios sistemáticos del color arquitectónico y urbano que permita avalar los criterios de conservación y tratamiento más idóneos para cada caso, con el fin de mantener las características singulares del entorno urbano, sobre todo de aquellas áreas de interés histórico como pueden ser los centros históricos de las ciudades. Estas metodologías de estudios del color para su integración en los planes de protección se han aplicado tan sólo en unas pocas ciudades españolas como Barcelona, Málaga o Valencia, entre otras. [6]

En el campo de la conservación de las arquitecturas pintadas de exteriores y su inclusión en los planes del color, Barcelona fue pionera con su lema *Posat guapa*, al transformar una realidad bien diferente, gracias a Joan Casadevall y su equipo, que más tarde se incorporaría en Andalucía [7]. En esta línea le siguieron Granada, y especialmente Málaga cuyo PGOU ha otorgado a las arquitecturas pintadas una protección específica. En general, lo avances son lentos, a excepción de las intervenciones puntuales de restauración o de rehabilitación vinculados a los trabajos de investigación referentes a nivel nacional [8]. Sin embargo, entendemos que no existe o no ha tenido lugar todavía, un interés por internacionalizar este legado cultural que por su idiosincrasia lo convierte en una oportunidad única que redimensione la imagen turística cultural de las ciudades andaluzas.

## **2. Turismo cultural y sostenibilidad. Los planes del color y su gestión en los centros históricos**

La delicada relación entre turismo cultural y sostenibilidad habla de la correcta planificación y gestión de nuestro Patrimonio Histórico Cultural vinculado al turismo, y se convierte en clave para la acción sobre el patrimonio. La planificación de un modelo de desarrollo del turismo cultural en una ciudad debe tener muy presente que la actividad turística ha de ser una actividad económica regida por los principios de calidad y sostenibilidad, capaces de contribuir al mantenimiento y la conservación del patrimonio cultural, evitando el deterioro de los bienes culturales y respetando condiciones de habitabilidad. Las estrategias culturales innovadoras y de manera concreta la promoción turística de calidad, son factores representativos para el Turismo Cultural de las ciudades históricas. Es aquí donde de este proyecto comparte precisamente ese hilo conductor que es la ornamentación de exteriores que ha sobrevivido a los avatares del tiempo, y que puede significar un input más en la creación de redes de ciudades andaluzas con pintura murales de exteriores. La idea es despertar conciencias y establecer vínculos con otras ciudades andaluzas que se comprometan a debatir, proteger, conservar, gestionar y comunicar un patrimonio que comparten todas estas ciudades. Su dimensión y transferencia vincula la propuesta con ejemplos tipológicamente similares conocidos como el amplio patrimonio existente en Roma de los siglos XV y XVI o en el norte de Italia y Centroeuropa, como Praga o en Portugal.

Durante estos años, el turismo se integra como un tema relevante en la agenda urbana, se conforma una política expresamente turística y el resto de las políticas urbanas asumen como propio el discurso turístico. En esta línea destaca cómo la Organización Mundial del Turismo (OMT) afirmarí que el turismo cultural incluye “todo movimiento de personas motivado por la necesidad de satisfacer la necesidad humana por la diversidad, dando origen a una elevación del nivel cultural del individuo y alentando nuevos conocimientos experiencias y encuentros”. En un sentido positivo de la definición, se ha considerado que el turismo cultural debe facilitar el conocimiento de la propia cultura como medio de enriquecimiento, pero no deja atrás las tensiones provocadas por la industria del sector asociadas al consumo, pues en ocasiones, el turismo se convierte en fuente de problemas, debido a una mala o carente gestión del mismo que puede provocar que poblaciones o áreas históricas se conviertan en productos de consumo de masas y pierdan su autenticidad y su valor identitario: la mercantilización extrema del patrimonio y especialmente de sus tradiciones y costumbres pueden llegar hasta el punto de despojarlas de su verdadero significado y provocar un *proceso de desculturización*. Es la cara y la cruz del fenómeno turismo cultural que cuenta con amplia bibliografía académica, muy interesantes manuales, así como recientes experiencias de planificación y gestión turística que se han venido incluyendo en los planes de

centros históricos. Con la aparición de la nueva categoría patrimonial de las rutas e itinerarios culturales, se nos ofrece la posibilidad de creación de una nueva forma de gestión del turismo cultural que supera al recorrido o ruta tradicional, englobando nuevos conceptos aplicados al patrimonio histórico-cultural e introduciendo las nuevas tecnologías. Para perseguir este objetivo, deben tenerse en cuenta todos aquellos bienes, tangibles o intangibles, que están vinculados a los distintos paisajes culturales, en este caso concreto nos referimos a las arquitecturas pintadas, donde el contexto se convierte en elemento esencial para explicar, dar sentido y comprender una historia: modos de vida, patrimonio artístico y bagaje cultural de un pueblo o ciudad.

### 3. Proyecto recuperación pinturas murales Málaga. Un proyecto de difusión internacional en clave de sostenibilidad

Con este proyecto planteamos dar una nueva oportunidad a un patrimonio que, en ocasiones, se confunde con aportaciones contemporáneas, precisamente por ese desconocimiento que implica secularmente vestir, revestir y adornar las ciudades. (Fig.1) Son muchos los ejemplos que determinan cómo Málaga fue una ciudad pintada, de color y muy barroca.



**Figura 1:** Casa del S. XVIII en la Plaza García Herrera. Málaga y trazos de la figura de la Inmaculada.

En esta ocasión avanzamos desde lo que marca nuestra actualidad, y lo que los usuarios exigen, que interpretemos y demos a conocer este legado cultural con las nuevas tecnología aplicadas a la realidad virtual, a la realidad aumentada y vídeos 360 con, la elaboración de textos, música y audios que nos permita elaborar experiencias que cautiven al público hasta tal punto que quieran ver *in situ* las trazas de estas arquitecturas coloreadas, esgrafiadas, etc. (Fig.2)



**Figura 2:** La Casa del Obispo Málaga. Inmueble en Calle Cerrojo nº 38 y detalle esgrafiado de fachada.

Es aquí donde juegan un papel protagonistas el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), herramientas con la que trabajar en el proyecto patrimonial y en la construcción de medidas con las que diseñar y mejorar las condiciones de accesibilidad y difusión en aras de un turismo sostenible. Un proceso de no retorno por el que distintas administraciones apuestan con mayor o menor acierto en un esfuerzo por incrementar los beneficios aminorando el agotamiento de los recursos de los propios Bienes Culturales inmersos en los circuitos turísticos del S. XXI.

## Conclusiones

La conservación de las pinturas murales, su afección a los planes del color, así como la didáctica y las nuevas tecnologías incorporadas al discurso del turismo cultural son los elementos que constituyen los ejes sobre los que se fundamenta nuestra investigación. Planteamos crear un discurso transversal que englobe el legado cultural de las arquitecturas pintadas en un paisaje urbano altamente modificado y sometido a las exigencias propias que marcan las dinámicas contemporáneas. La vulnerabilidad de este patrimonio es tan grande que está abocado a su desaparición si no se activan acciones de conjunto y se manifiesta con este tipo de iniciativas de investigación y conocimiento, la puesta en carga de estrategias que demuestren su alto potencial patrimonial. La planificación de un modelo de desarrollo del turismo cultural de calidad debe tener muy presente que la actividad turística ha de ser una actividad económica regida por los principios de calidad y sostenibilidad, capaz de contribuir al mantenimiento y la conservación del patrimonio cultural, evitando el deterioro de los bienes culturales y respetando condiciones de habitabilidad.

## Bibliografía

- [1] Proyecto de investigación concedido en 2022 por el Vicerrectorado de Investigación de la Universidad de Málaga y dirigido por Eduardo Asenjo Rubio y Lourdes Royo Naranjo.
- [2] Camacho, R., “La incorporación de nuevos patrimonios. La arquitectura pintada de Málaga como agente dinamizador del centro histórico en Marín, P., *Recuperación integral del Centro Histórico de Málaga desde 1994- 2010*, Málaga: Ayto. de Málaga. pp. 309-334 (2010).
- [3] Llopis, J., Torres, A., Serra, J., García “The preservation of the chromatic image of historical cities as acultural value. The old city of Valencia (Spain)”, *Journal of Cultural Heritage*, Paris (2015).
- [4] Armenta, C.M., Royo, L., “La turistización de los centros históricos y su protección patrimonial. El caso de la Carrera del Darro de Granada”, *IV Congreso Internacional ReUSO* Florencia: Edifir Edizione Firenze, pp. 998-1006 (2017).
- [5] Asenjo Rubio, E., “Las arquitecturas pintadas en las ciudades europeas. Aportaciones desde Málaga: la secuencia cronológica y estilística”, *Boletín de Arte*, 26- 27, pp. 117-138 (2006).
- [6] Collado, F.J., Medina, V.J., “Metodología utilizada en estudios y planes del color: visión comparada de once casos (Italia y España)”, *XIV Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales*, Valladolid: Excmo. Ayto. de Valladolid, pp. 901-924 (2002).
- [7] Casadevall, J. “Planes de color de centros históricos: el ejemplo de Málaga”, *PH Boletín del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico*”, nº67, p. 50 (2008).
- [8] Se cita de manera concreta la bibliografía específica donde se se referencian las siguientes investigaciones sobre el estado del arte y referents mencionados: Casadevall, J., “Metodología para la investigación cromática del patrimonio. El plan del color de Melilla”, *Loggia*, nº 2, pp. 58-67 (1997); Casadevall, J., *Estudio del color del centro histórico de Málaga*. Málaga: Excmo. Ayuntamiento de Málaga (1999); García, A., Llopis, J., Masiá J., Torres, A., Villaplana, R., La recuperación de los espacios cromáticos en la ciudad histórica: El barrio del Carmen Valencia. En *EGA*, nº 2, pp. 21-41 (1994); García, A., Llopis, J., Torres, A., Serra, J., “Una estrategia global para el conocimiento y la preservación del color en la arquitectura histórica”, *Actas IX Congreso Nacional del color*, Universidad de Alicante, Alicante, pp. 152-156 (2010); García, A.; Llopis, J. Torres A., Masiá, J., Villaplana, R., *El color de Valencia. El centro histórico*. Valencia: Excmo. Ayto. de Valencia (2012) y Llopis, J., Torres, A., Serra, J., García, A., “The preservation of the chromatic image of historical cities as a cultural value. The old city of Valencia (Spain)”, *Journal of Cultural Heritage* (2015).

## Celebrando 40 años del grupo de estudio “Environmental Colour Design” (1982–2022) de la Asociación Internacional del Color

Verena M. Schindler<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>*Study Group on Environmental Colour Design of the International Colour Association, Zollikon, Switzerland*

<https://aic-color.org/sq-ecd> ; <http://www.aicecd.org>

**Resumen:** En 2022, el Study Group on Environmental Colour Design (SG ECD) de la Asociación Internacional del Color (AIC) celebra su 40º aniversario. En 1981, con motivo del 4º Congreso de la AIC en Berlín, el profesor y científico del color Antal Nemcsics (Hungría) propuso la creación de un grupo de estudio que, al año siguiente en 1982, en el congreso de la AIC en Budapest, se consolidó recibiendo el nombre de “Environmental Colour Design”, que en español sería el equivalente de “color en diseño ambiental” o “diseño de color ambiental”. Actualmente, el SG ECD cuenta con 300 miembros activos de 44 países repartidos en los cinco continentes. Los medios de intercambio incluyen reuniones en congresos, un sitio web y publicaciones, así como colaboraciones con otros grupos y organizaciones para estimular la investigación y la enseñanza relacionadas con los temas fundamentales e intereses clave del SG ECD.

### 1. Historia del grupo de estudio

Han pasado 40 años desde la creación del Study Group on Environmental Colour Design (SG ECD) en el seno de la Asociación Internacional del Color (AIC). Con motivo del 4º Congreso de la AIC 1981 en Berlín, el profesor, artista, diseñador y científico del color Antal Nemcsics (Hungría) propuso la creación de un grupo de estudio que pensó llamar Dinámica del Color (Colour Dynamics). Al año siguiente, en el congreso de la AIC de Budapest que se llevó a cabo del 8 al 10 de junio de 1982, el grupo de estudio se consolidó recibiendo el nombre de “Environmental Colour Design” – en español sería el equivalente de “color en diseño ambiental” o “diseño de color ambiental”. Fue nombrado como el primer presidente del grupo de estudio Anders Hård (Suecia), reconocido experto del color, y como primer secretario el psicólogo Lars Sivik (Suecia). Desarrollaron ellos, conjuntamente con el físico Gunnar Tonnquist (Suecia), el Sistema Natural del Color (NCS Natural Colour System) cuya primera edición del atlas se publicó en 1978/79. En 1989, el artista, psicólogo y diseñador Leonhard Oberascher (Austria) sucedió como presidente. En el período entre 1998 y 2005, el arquitecto e investigador del color José Luis Caivano (Argentina) fue presidente solidariamente con Leonhard Oberascher. Cuando José Luis Caivano fue elegido presidente de la AIC en 2006, la autora de este artículo fue elegida para sucederlo en esta función. Ella copresidió el SG ECD con Leonhard Oberascher (2006–2011) y con Yulia A. Griber (2017–2022).

La historia del grupo de estudio Environmental Colour Design (SG ECD) revela su rol fundamental en cuanto a la difusión de diferentes enfoques de profesionales de distintas regiones geográficas y culturales. Centrado en un interés específico por el color como medio de diseño de los espacios arquitectónicos habitables, tanto interiores como exteriores, el abanico de profesiones de los miembros activos del grupo internacional, informal y sin fines lucrativos SG ECD es amplio e incluye especialistas en diseño del color, consultores del color, arquitectos, urbanistas, arquitectos paisajistas, interioristas, decoradores, artistas, diseñadores gráficos, diseñadores de medios de comunicación, diseñadores de iluminación, historiadores del arte y de la arquitectura, psicólogos, sociólogos, filósofos, científicos, profesores, entre otros. Aunque el enfoque del color es específico, el ámbito de investigación es amplio. Abarca el color no solo en el medio ambiente construido – los entornos modificados por la acción humana –, sino también el medio ambiente natural y el medio ambiente sociocultural. Un importante subtema de este ámbito es la investigación de la interacción entre los seres humanos y su entorno, en particular, la investigación de

---

\* e-mail: [ecd.studygroup@yahoo.com](mailto:ecd.studygroup@yahoo.com)

efectos emocionales y cognitivos del color. El grupo de estudio se ha convertido en una plataforma internacional de intercambio para los expertos del color y en una fuente de cooperación e inspiración para las generaciones presentes y futuras.

Tal y como se definió originalmente en 1982 y se mantiene en la actualidad, el principal objetivo del SG ECD es difundir los conocimientos sobre la experiencia adquirida en el proceso de integración del color en la planificación, el diseño y la realización de proyectos relacionados con los espacios construidos, modificados por la intervención humana. Las actividades y eventos del SG ECD han establecido intercambios entre expertos que trabajan en diversos países del mundo. Hoy en día, el SG ECD tiene 300 miembros de 44 países en los cinco continentes. Los medios de intercambio incluyen un sitio web, una lista de difusión, reuniones anuales en congresos, informes, publicaciones, así como colaboraciones con otros grupos y organizaciones para estimular la investigación y la enseñanza relacionadas con los intereses fundamentales de los miembros. Anualmente el SG ECD publica un informe (Fig. 1) sobre sus actividades, que aparece en el Informe Anual de la AIC (AIC Annual Review), libremente accesible en el sitio web de la AIC.



Figura 1: Informe de 2019, Grupo de Estudio "Environmental Colour Design" de la Asociación Internacional del Color

Actualmente miembros honorarios del SG ECD son Lars Sivik (Suecia), Leonhard Oberascher (Austria), José Luis Caivano (Argentina), Werner Spillmann (Suiza), Paul Green-Armytage (Australia), Jean-Philippe Lenclos (France), Jianming Song (China) y Clino Trini Castelli (Italia).

Miembros provenientes de España son Manuel Melgosa, Jaume Pujol, Javier Romero, Juan Carlos Sanz Rodríguez, Juan Serra Llach, Ana Torres Barchino, Pilar Belmonte Useros, Juan Luis Nieves, Lourdes García Ureña y Pia López-Izquierdo Botín.

En cuanto a la historia del SG ECD, se publicaron varios artículos. En el congreso de la AIC 2002 de Maribor (Eslovenia), José Luis Caivano presentó una visión general de la historia del grupo de estudio de 1982 a 2002 [1]. En el 10º Congreso de la AIC 2005 de Granada, el mismo autor presentó "La investigación sobre el diseño del color ambiental: breve historia, desarrollos actuales y posible futuro" [2,

3, 4]. Caivano también creó una bibliografía cronológica de libros sobre el color [5]. Un artículo más reciente se publicó en 2017 [6].

En 2015, la AIC creó el premio Colour in Art, Design and Environment (CADE) para reconocer aquellos profesionales que destacan en las áreas diseño, arte, arquitectura y las humanidades. El premio se otorga cada dos años en los congresos de la Asociación Internacional del Color (AIC). Este premio se entregó a tres miembros del grupo de estudio: Antal Nemcsics (2017), Roy Osborne (2019) y Jean-Philippe Lenclos (2021) [7].

## **2. Color en diseño ambiental: de la dinámica del color a un medio ambiente sustentable**

Antal Nemcsics propuso la creación de un grupo de estudio sobre la dinámica del color. En aquel momento creía que el color arquitectónico se había aplicado de forma más consciente desde la Segunda Guerra Mundial. Además, le parecía que muchos profesionales, como fisiólogos, psicólogos, antropólogos y sociólogos, estaban investigando los efectos del color ambiental en el ser humano. En el ámbito de la física y de la estética, se estaba investigando la interrelación entre la sensación y la composición y armonía del color. Nemcsics pensó que esta variedad de puntos de vista y la heterogeneidad de los resultados de las investigaciones deberían enfocarse para establecer una nueva ciencia a la que propuso llamar Dinámica del Color. El objetivo de esta nueva ciencia tenía que reunir los conocimientos de diferentes disciplinas para crear una base – teórica y práctica – para el estudio de la relación entre el color, el entorno y la respuesta humana [8].

La palabra ‘dinámica’ – que deriva del término griego antiguo *dýnamis*, *δύναμις* y significa ‘poder’ – implica la noción de movimiento. En general, la dinámica supone cualquier cosa inducida por una fuerza que se mueve, fluye y cambia. En mecánica, estudiar la dinámica significa explorar las causas y los efectos de las fuerzas. En música, en cambio, la dinámica está relacionada al volumen de un sonido o de una nota, en particular, a un cambio repentino o gradual. El psicólogo y zoólogo alemán Heinrich Frieling quien participó en la Conferencia Internacional del Color de Lucerna en 1965, también utilizó la noción de *Farbdynamik* (dinámica del color) en su publicación de 1954 para referirse a la psicología del color y a la fuerte interacción del color con los seres humanos y su entorno [9].

Sin embargo, no se adoptó el nombre de Dinámica del Color como nombre del grupo de estudio recién fundado porque se temía que se malinterpretara como si se tratara del color en movimiento. El Color en Diseño Ambiental parecía más apropiado para describir los objetivos y el alcance del grupo de estudio. Es interesante observar cómo el concepto de diseño ambiental ha sufrido un cambio semántico desde su aparición inicial en los años cuarenta. En un principio, y en las décadas siguientes, el concepto de diseño medioambiental abarcaba los procesos de interacción humana con los factores naturales circundantes (por ejemplo, geográficos, solares, climáticos, etc.) que se producen en el transcurso de la planificación y construcción en urbanística, arquitectura, arquitectura paisajística y diseño de productos, y que conducen a un impacto antropogénico en el entorno natural. En particular, el diseño medioambiental se refería tradicionalmente a cualquier cambio del entorno natural en un entorno físico habitable. También solía referirse a los objetivos y obras de las artes y ciencias aplicadas en cuanto a la creación de entornos inmediatos creados por los seres humanos, como el diseño de interiores y el diseño de iluminación. Sin embargo, más recientemente, el término implica esfuerzos de diseño ecológico y sustentable que incluyen la protección del medio ambiente, por ejemplo, estrategias que respetan la naturaleza. Últimamente, los avances en el campo del diseño, el color está desempeñando un papel fundamental en la creación de ambientes interiores y exteriores. El objetivo es mejorar la sensación de bienestar y confort mediante el color en espacios urbanos, construcciones habitables e infraestructuras públicas estéticamente atractivas y respetuosas del medio ambiente.

En la reunión del SG ECD que se llevó a cabo hace ya más de diez años, en el congreso AIC 2011 en Zúrich, se planteó la siguiente pregunta que aún rige actualmente: ¿Cómo definimos hoy el diseño ambiental con respecto al color, a la sostenibilidad, a la ecología y al bienestar? Las respuestas de los miembros del SG ECD variaron. Karin Fridell Anter (Suecia) y Doreen Balabanoff (Canadá) relacionaron este tema del color con la salud y el bienestar. Tatiana Semenova (Rusia) planteó a su vez la siguiente pregunta: ¿Cómo evitar la contaminación visual en el espacio urbano? Jean-Luc Capron (Bélgica) se mostró preocupado por la política de iluminación de los espacios públicos. Piyanan Prasarnrajkit

(Tailandia) compartió su experiencia de talleres sobre el tema: ¿De qué color es el diseño sustentable? Cristina Boeri (Italia) expresó interés por integrar el color también en proyectos industriales y en la planificación urbana. Leonhard Oberascher (Austria) señaló las obras *Ecological Psychology* (1968) de Roger G. Barker, *The Ecological Approach to Visual Perception* (1979) de James J. Gibson, y *Encountering the World: Toward Ecological Psychology* (1996) de Edward S. Reed y la actitud ecologista de los diseñadores industriales. Y, por último, María Luisa Musso (Argentina) nos recordó que ya en los años 1980 y 1990 la ecología y los colores naturales eran una preocupación importante, citando el ejemplo de la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro que se celebró en 1992.

Los participantes del SG ECD seguirán examinando las tendencias actuales y futuras y reflexionarán de forma crítica sobre los nuevos retos en torno a importantes temas relacionados con el color en el diseño ambiental.

### Bibliografía

- [1] J. L. Caivano, “A History of the International Colour Association Study Group on Environmental Colour Design from 1892 to 2002”, *Proceedings of the AIC Interim Meeting, 29–31 August 2002, Maribor, Slovenia* (V. Golob, S. Jeler, Z. Stjepanovic, Eds., Drustvo Koloristov Slovenije y Universidad de Maribor, Facultad de Ingeniería Mecánica, Maribor), pp. 187–195 (2003)  
<http://www.aic-color.org/congr.htm>
- [2] J. L. Caivano, “The Research on Environmental Colour Design: Brief History, Current Developments and Possible Future”, *Proceedings of AIC Color 05, Tenth Congress of the AIC, Granada, Spain, 8–13 May 2005* (J. L. Nieves, J. Hernández-Andrés, Eds., 2 vols., CD-ROM, Comité Español del Color, Granada) 1, pp. 705–714 (2005)  
<http://www.aic-color.org/congr.htm>
- [3] J. L. Caivano, “Research on Color in Architecture and Environmental Design: Brief History, Current Developments, and Possible Future”, *Color Research and Application* 31(4), pp. 350–363 (2006)  
<https://doi.org/10.1002/col.20224>
- [4] J. L. Caivano, “La investigación sobre color en la arquitectura: Breve historia, desarrollos actuales y posible future” *Opt. Pura Apl.* 41 (4), pp. 333–348 (2008)
- [5] J. L. Caivano, et al., *Chronological Bibliography on Colour Theory* (Colour Research Program, School of Architecture, Design and Urbanism, Universidad de Buenos Aires, 2004)  
<http://colorbib.wordpress.com/2013/12/24/17/>
- [6] V. M. Schindler “Introduction”, *Environmental Colour Design: Theory and Practice* (V. M. Schindler, Y. A. Griber, (Eds.), Social Transformations, vol. 27, Smolensk State University Press, Smolensk), pp. 7–16 (2017)  
[http://color-lab.org/files/283/ecd\\_book\\_compressed.pdf](http://color-lab.org/files/283/ecd_book_compressed.pdf)
- [7] V. M. Schindler “Jean-Philippe Lenclos: Recipient of the AIC Award for Colour in Art, Design and Environment (CADE)”, *Proceedings of the International Colour Association Conference 2021* (AIC, Milan), pp. 1439–1446 (2021)  
[https://aic-color.org/resources/Documents/Proceedings\\_AIC2021\\_r10.pdf](https://aic-color.org/resources/Documents/Proceedings_AIC2021_r10.pdf)
- [8] A. Nemcsics, *Colour Dynamics. Environmental Colour Design* (Ellis Horwood, New York NY, 1993)
- [9] H. Frieling, *Psychologische Raumgestaltung und Farbdynamik, mit Farbenmuster* (Musterschmidt, Göttingen, 1954)

# Preferencias de arquitectos y diseñadores jóvenes respecto de las combinaciones de colores de Le Corbusier para espacios interiores

Juan Serra<sup>1\*</sup>, Banu Manav<sup>2</sup>, Yacine Gouiach<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Grupo de Investigación del Color en Arquitectura. Instituto de Restauración del Patrimonio, Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46022, Valencia*

<sup>2</sup>*Dep. of Interior Architecture and Environmental Design, Faculty of Art and Design, 34083, Kadir Has University, Istanbul*

<sup>3</sup>*Laboratory LCTPE, University Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, 27000, Algeria*

<http://www.grupocolor.webs.upv.es>

**Resumen:** Le Corbusier ha tenido una influencia fundamental en la arquitectura contemporánea y sus Pianos de Colores Salubra 1932 siguen despertando el interés de los entusiastas de la modernidad, así como de numerosas empresas de suministros para la construcción. No obstante, se desconoce la vigencia de tales combinaciones de colores en opinión de las generaciones actuales. Para ello, evaluamos con una muestra de 644 arquitectos y diseñadores jóvenes (20,5 años de media) de Europa Occidental y el Cercano Oriente, sus preferencias respecto a las 312 combinaciones de cuatro colores contenidas en los Pianos Salubra, aplicadas en una imagen digital del interior de un dormitorio del Pabellón Suizo (1930-31). Se analizan las preferencias de los colores individualmente y en grupos, considerando que dos corresponden a “fondos” y dos a “acentos”. Esta comunicación resume los resultados de sendos estudios ya publicados en *Color Research and Application* y *Frontiers of Architectural Research*.

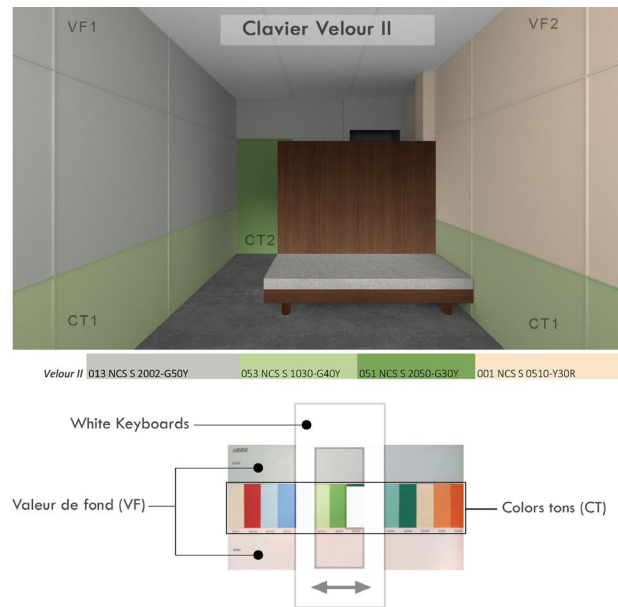
## 1. Introducción

La importancia que Le Corbusier tuvo en la manera de conceptualizar y formalizar la arquitectura moderna en Europa está fuera de toda duda, y en ella se fundamenta el modo actual de concebir la disciplina arquitectónica. En lo que al color arquitectónico se refiere, la aportación teórica más importante de Le Corbusier está recogida en su manifiesto *Polychromie Architecturale*, que acompaña a las cartas de colores que elaboró para la empresa suiza de papeles pintados Salubra en 1932 [1]. Estas cartas se componen de 43 colores que Le Corbusier organizó en 12 “pianos de color”, tal y como él los denominó, y con la posibilidad de agrupar los colores de cada teclado en grupos de cuatro. Es decir, Le Corbusier estableció cómo había que combinar los colores Salubra de cuatro en cuatro, distinguiendo dos colores adecuados para los ‘fondos’ (*valeurs de fond*) y dos para colorear ‘acentos’ (*couleur tons*) [2].

La vigencia de los colores Salubra en numerosos productos de la construcción, es un indicador del interés que los colores de Le Corbusier aún despiertan en los entusiastas de la modernidad: pinturas © Kt color y © Keimfarben; interruptores © Jung; alfombras © Anker; ventanas © Heroal; cocinas © Leicht; cerámicas © Cigaler y © Portobello, etc. No obstante, se desconoce si este interés es compartido por los diseñadores jóvenes.

Para ello, evaluamos las preferencias de una muestra de 644 arquitectos y diseñadores jóvenes de Europa Occidental y el Cercano Oriente, respecto a las 312 combinaciones de cuatro colores contenidas en los Pianos Salubra, aplicadas en una imagen digital del interior de un dormitorio del Pabellón Suizo (LC, 1930-31), empleando una escala Likert de *1-Dislike Extremely* a *7-Like Extremely* (Fig. 1). Las imágenes se han generado empleando el software de modelado digital Autodesk 3Ds Max y el editor de imágenes Photopea. En un primer estudio se analizaron las preferencias de cada habitación (312), Piano de Colores (12) y colores individuales (43), buscando diferencias significativas entre grupos culturales y géneros [3]. En un segundo estudio se analizó en qué modo influyen los criterios de combinación de colores en el gusto actual, explorando la similitud/contraste de cada una de las tres variables que describe un color en NCS (tono, valor y cromaticidad) entre los dos *Couleur Ton* y los dos *Valeur de Fond* [4].

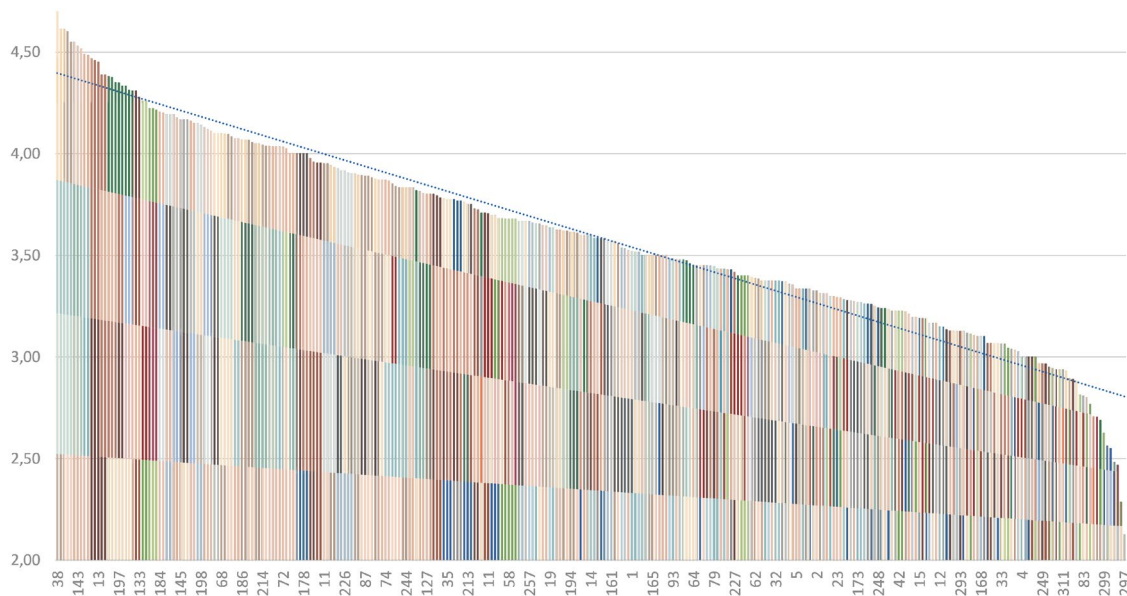
\* e-mail: juanserra@ega.upv.es



**Figura 1:** Ejemplo de una combinación de cuatro colores del piano *Velour II*, aplicado sobre el dormitorio virtual del Pabellón Suizo. CT= *Couleur Ton*, VF= *Valeur de Fond*

**2. Conclusiones del estudio I. Preferencias de color para interiores a partir de las cartas Salubra 1932: diferencias entre géneros y culturas**

Los análisis descriptivos de las preferencias de los individuos demuestran que, en general, a los participantes “les disgusta ligeramente” o “son indiferentes” a las combinaciones de colores de Salubra que se muestran en el dormitorio del Pabellón Suizo (MV= 3.6) gustando sólo el 23,7% de los dormitorios (MV= 4). Sin embargo, a pesar de las calificaciones neutrales a bajas en general, los resultados demuestran que la composición del color es capaz de cambiar la preferencia por un interior significativamente hasta 2,63 puntos en una escala Likert de 7 unidades, que es la diferencia entre los dormitorios más y menos preferidos (Fig. 2). Los estudiantes prefieren las imágenes del dormitorio que contienen Azules Cobalto, Grises y Sombras. Otro resultado interesante es que la presencia de colores verdes en las imágenes de los dormitorios conlleva una menor preferencia.



**Figura 2:** Valor promedio [1-7] de la preferencia por cada uno de los 312 dormitorios, en orden de más a menos preferido. A cada dormitorio corresponden una columna con una combinación de 4 colores, siendo los dos centrales los *couleurs tons*.

El análisis de los resultados demuestra que existen diferencias significativas entre géneros en la preferencia de sólo el 5% de los dormitorios (N= 16), siendo las valoraciones de las mujeres más positivas que las de los hombres en general. El piano preferido por los hombres fue *Espace*, y por las mujeres *Mur I*. A pesar de la diferencia entre géneros, los dos dormitorios preferidos para cada género fueron coincidentes en cada piano. Con respecto a preferencia por los 43 colores individuales de Salubra, encontramos diferencias significativas entre géneros solo para el 20% (N=9). Las mujeres prefieren los azules pastel, verdes pastel y rosas, colores más claros y menos saturados en general, mientras que los hombres optan por colores más saturados y oscuros en naranja, rojo bermellón y azules. El color S 5020-G, que es el más oscuro y saturado de la familia de los Verde Veronés es una excepción, pues a pesar de ser más oscuro que otros verdes fue más preferido por mujeres que por hombres.

Los resultados muestran diferencias significativas entre culturas en la preferencia por el 18,3% de los dormitorios (N=57). En general, los habitantes del Cercano Oriente dan calificaciones más altas respecto a los de Europa Occidental, pero el orden de preferencia es casi coincidente. Considerando la preferencia por los 43 colores Salubra, encontramos diferencias significativas entre culturas para el 28% (N= 12, P < 0,05). Parece que la presencia de verdes, rosas y colores algo más saturados conlleva una mayor preferencia en participantes del Cercano Oriente en comparación con los de Europa Occidental. Sin embargo, los resultados demuestran que la preferencia de color en los interiores de la arquitectura requiere considerar no solo el tono del color, sino también su negrura y cromaticidad, pues combinaciones de colores con verde han demostrado no ser deseadas a menos que tengan baja cromaticidad y negrura.

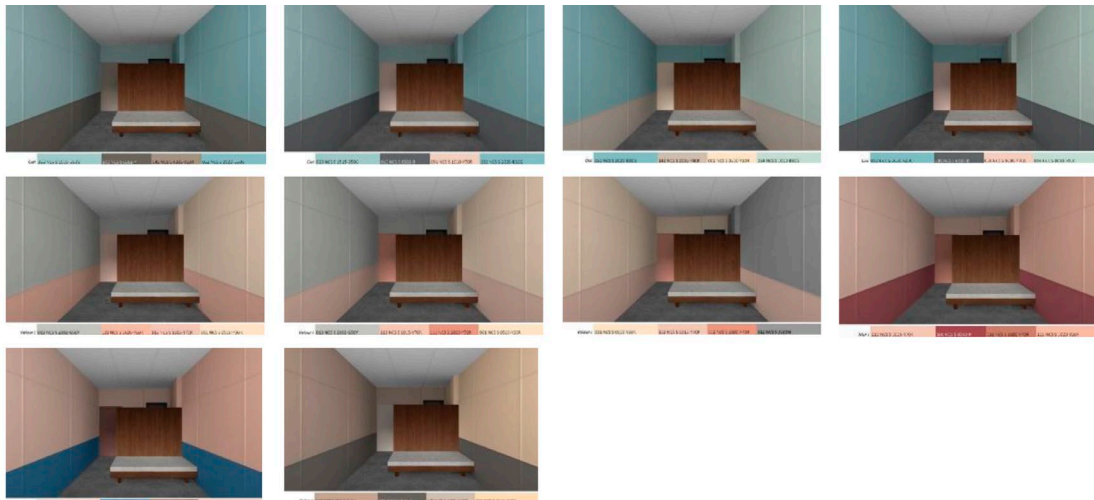


Figura 3: Las 10 imágenes del dormitorio más preferidas.

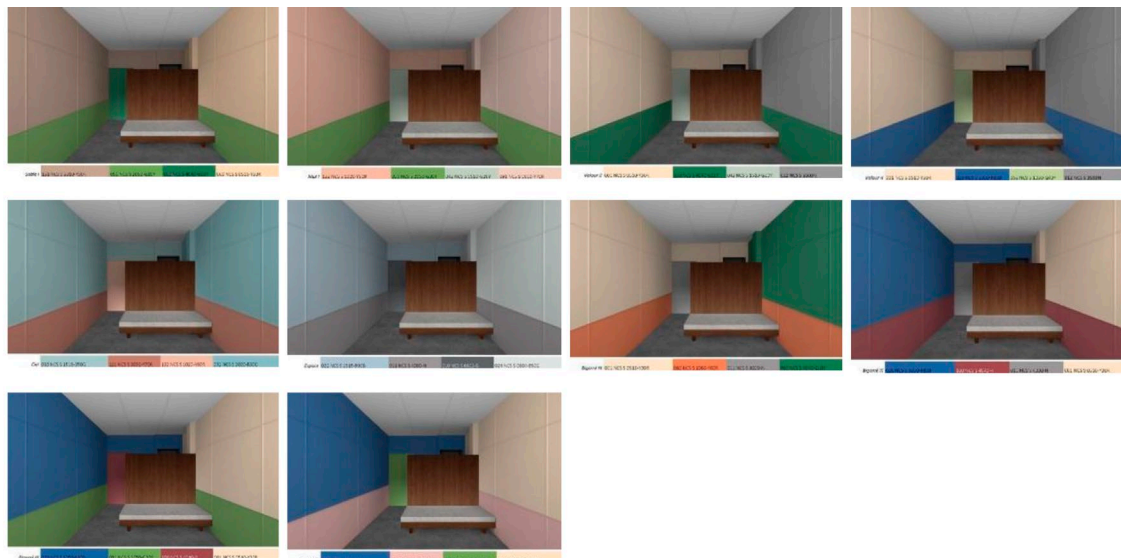


Figura 4: Las 10 imágenes del dormitorio menos preferidas.

### 3. Conclusiones del estudio II. Preferencia por colores de fondo y acento en espacios interiores respecto de la similitud/contraste de sus atributos en NCS

Realizamos un primer análisis para comparar la preferencia por los colores individuales de Le Corbusier, medida como una frecuencia del número de veces que aparece cada color en las 312 combinaciones Salubra; con la preferencia expresada por los observadores actuales en una escala Likert del 1 al 7. Le Corbusier tendía a preferir los colores pastel cálidos (S 0515-Y30R, S 0510-Y30R, S 1020-Y60R, S 3010-Y50R, S 1010-Y70R, y S 1015-Y70R), mientras que los observadores actuales los colores pastel fríos (S 2005-Y40R, S 2040-B10G, S 6502-B, S 1515-B50G, S 6502-Y y S 1010-B90G). En términos generales, los colores más vivos de Salubra, aquellos con más negrura y cromaticidad, fueron más preferidos por Le Corbusier que por los observadores actuales. Los colores menos preferidos por Le Corbusier pertenecían a los naranjas, mientras que para los observadores actuales pertenecen a los verdes. Por último, encontramos que el color S 0510-Y30R, que es el más cercano al blanco en los teclados Salubra, era un color frecuente en las combinaciones de Le Corbusier, pero ha recibido bajas valoraciones por parte de los observadores actuales.

Respecto a los tonos de los colores, los resultados indican que el tono de los *valeurs de fond* es más significativo que el tono de los *couleurs tons*. Cuando el promedio de tonos de los colores de fondo se encuentran entre NCS G y B30G, el diseño es más preferido, habiendo una clara caída en la preferencia cuando los tonos se encuentran entre NCS R60B y R. En general, cuando los tonos de los valores de fondo se aproximan en la rueda de colores ( $\leq 10$  familias NCS Hue), se prefieren más los dormitorios.

Respecto a la negrura de los colores, la preferencia de un dormitorio aumenta cuando la negrura promedio de los *valeurs de fond* es  $\leq 10$  % y cuando la diferencia de negrura entre los dos *valeurs de fond* es  $\leq 20$  %. En términos generales, los observadores prefieren colores claros para los fondos (con poca negrura y con poca diferencia de negrura) y cierto contraste de negrura entre estos *valeurs de fond* y *couleurs tons*, con independencia de la negrura de los *couleurs tons*.

Respecto a la cromaticidad de los colores, los dormitorios son más preferidos cuando disponen *valeurs de fond* con poca cromaticidad y con poca diferencia de cromaticidad entre ellos, o bien disponen *couleurs tons*, con poca cromaticidad y con poca diferencia de cromaticidad entre ellos. Además, los dormitorios son más preferidos cuando la diferencia de cromaticidad es  $\leq 20$ %, entre la cromaticidad media de los dos *valeurs de fond* y la cromaticidad media de los dos *couleurs tons*. Por lo tanto, en general, los observadores prefieren dormitorios que contienen colores con poca cromaticidad y cromaticidad similar entre ellos.

**Agradecimientos:** Agradecemos a la arquitecta María Gilabert Sendra su ayuda en la confección de la colección de imágenes correspondientes a los dormitorios, así como la participación del alumnado de las universidades involucradas.

#### Bibliografía

- [1] C.-É. J. Le Corbusier and A. Rüegg, *Polychromie architecturale: Le Corbusier farbenklaviaturen von 1931 aund 1950=Le Corbusier's color keyboards from 1931 and 1959=Les claviers de couleurs de Le Corbusier de 1931 et de 1959*. Basel: Birkhäuser, 1997.
- [2] J. Serra, J. Llopis, A. Torres, and M. Giménez, "Color combination criteria in Le Corbusier's Purist architecture based on Salubra claviers from 1931," *Color Res. Appl.*, vol. 41, no. 1, p. 85, 2016.
- [3] J. Serra, B. Manav, and Y. Gouaich, "Assessing architectural color preference after Le Corbusier's 1931 Salubra keyboards: A cross cultural analysis," *Front. Archit. Res.*, 2021.
- [4] J. Serra, Y. Gouaich, and B. Manav, "Preference for accent and background colors in interior architecture in terms of similarity/contrast of natural color system attributes," *Color Res. Appl.*, 2021.

# El Color en la Arquitectura: un Medio para la Reducción del Estrés

Pia Lopez-Izquierdo Botin, M<sup>a</sup>. Dolores Terriza Rueda

<sup>1</sup> Grupo TECA, Departamento de Construcciones Arquitectónicas, ETSEM, Universidad Politécnica de Madrid. Avenida Juan de Herrera 4, 28040 Madrid

<sup>2</sup> Grupo TECA. Médico jubilado del Hospital Universitario de la Princesa. Calle Diego de León 62. 28006 Madrid.

<http://www.edificacion.upm.es/>

**Resumen:** Las restricciones motivadas por el covid-19 han hecho que nuestras viviendas se convirtieran en zonas de trabajo, en colegios improvisados y en sitios de aislamiento. En los hospitales la situación se agravaba por la enorme presión y la soledad, siempre en condiciones muy duras. Nos hemos visto forzados a tomar conciencia de nuestros espacios, si colaboran en nuestro bienestar e incorporan las condiciones ambientales más adecuadas minimizando la presión exterior. Y la respuesta ha sido negativa. De ahí que planteemos un concepto de *bienestar renovado*, en el que contemplamos no solo el concepto tradicional de *bienestar físico/ambiental*, sino el concepto de *bienestar mental* o salud psicológica. Como profesionales de la arquitectura y de la medicina proponemos utilizar el color en arquitectura para cambiar el comportamiento del hombre reduciendo el estrés y su manera de sentirse en los espacios.

## 1. Introducción

Durante el confinamiento global la “casa” ha funcionado como refugio físico (no había miedo físico, ni inseguridad, ni problemas de confort físico, ni carencia de alimentos etc.), pero no ha funcionado como refugio emocional. La gente se ha sentido encerrada entre cuatro paredes, limitada, experimentado tensión, estrés y miedo emocional. De hecho, se están recogiendo desde distintos observatorios las consecuencias generadas, como el Informe “Madrid 2020: Diagnóstico Social de la Crisis por Covid-19” de la concejalía de Familias, Igualdad y Bienestar social del Ayuntamiento de Madrid.

Desde el grupo de investigación del Color *Teca* de la UPM, ante una problemática global común a todas las ciudades, damos una respuesta para tratar los nuevos espacios y transformar los existentes, actuando sobre un nuevo concepto de bienestar que llamaremos “bienestar renovado”, en el que incorporamos a la noción tradicional de bienestar físico/ambiental, la noción de bienestar mental o salud psicológica.

Y recurrimos al color como la variable con la que incorporar esas condiciones “ambientales” ampliadas actuando como un catalizador entre la dimensión física y el componente emocional de la arquitectura, en aras de cambiar el comportamiento del hombre. En definitiva, se trata de incorporar el color como herramienta de proyecto para manejarlo no solo como un medio estético y compositivo, sino para crear espacios que física, emocional y comunicativamente optimicen su uso. Nuestra hipótesis reside en que la intervención de color en arquitectura, bajo ciertas condiciones, ayuda a reducir el estrés y a crear los ambientes que faciliten un cambio en la conducta, contribuyendo en la eficacia de las funciones que albergan: vivienda, hospitales, educación, oficinas, etc.; la finalidad social del color.

## 2. Sobre la Experiencia Perceptiva del Color

Tal y como avanzábamos en el Congreso Nacional del Color de Jaén fruto de nuestra investigación, “*La Percepción del Color en los Espacios Arquitectónicos*” (2019), se caracteriza por una serie de condiciones que brevemente sintetizamos:

- La tradición Enactiva de la percepción iniciada por Merleau-Ponty (1945), sostiene que el conocimiento del mundo tiene lugar a través de la doble noción de corporalidad: el cuerpo como ámbito de los mecanismos cognitivos y el cuerpo como estructuras vividas y experienciales. El primer actor de esta cognición son las creencias asociadas al color y contenidas en las estructuras del trasfondo cognitivo del hombre (Varela et Al,2011)[1] y (Hutchins,1995); y el segundo actor es el sistema sensoriomotor que coparticipa a través de micro movimientos -sistemas fisiológicos, neuro sensores y neuromusculares- en la percepción del mundo. (Gibson, 1976; Thompson, 1995).

- Proponemos que esta experiencia perceptiva es de naturaleza emocional lo que dará lugar a una modificación en la conducta.
- E iniciamos la hipótesis de la naturaleza emocional de la experiencia perceptiva del color partiendo de las tesis del Dr. Hita Villaverde (2001) [2] cuando afirmaba que en el proceso visual tiene lugar una decodificación emocional, base del paralelismo entre la experiencia perceptiva del color y el proceso cognitivo de la emoción. Nos basamos en los psicólogos cognitivos Becks (1956) y Ellis (1962) para plantear el proceso cognitivo emocional y con Brioles (2003) [3] le damos la forma definitiva. Y calificamos la emoción de “Afecto” tal y como sugería Noë (2017) en su seminario de Investigación de Filosofía en la universidad UC Berkeley. **Fig.1**
- De estas propuestas, se deduce que la habilidad del color y su fenomenología en el espacio descansa en los contenidos de las creencias asociadas al mismo. Estas creencias han sido y son manipuladas en los sistemas culturales (Hutchins, 1995) de acuerdo con los conceptos de Gibson (2015) del “Physical World” (mundo físico) y ampliadas por Noë (2004) al “Cultural world” (mundo cultural).
- La estructura de la cognición del individuo está compuesta por sus creencias y prácticas biológicas, sociales y culturales (Varela et AL, 2012), y va a determinar la naturaleza de la experiencia perceptiva. La fenomenología específica de esta experiencia del color se debe a lo que en Filosofía se entiende como “La Penetración Cognitiva de la Percepción” (Dokic) [4] o CogPen, y explica como nuestra percepción es impregnada o coloreada por las creencias sobre el color. Tratamos específicamente las creencias asociadas a los colores de nuestros entornos naturales que pueden considerarse como universales.

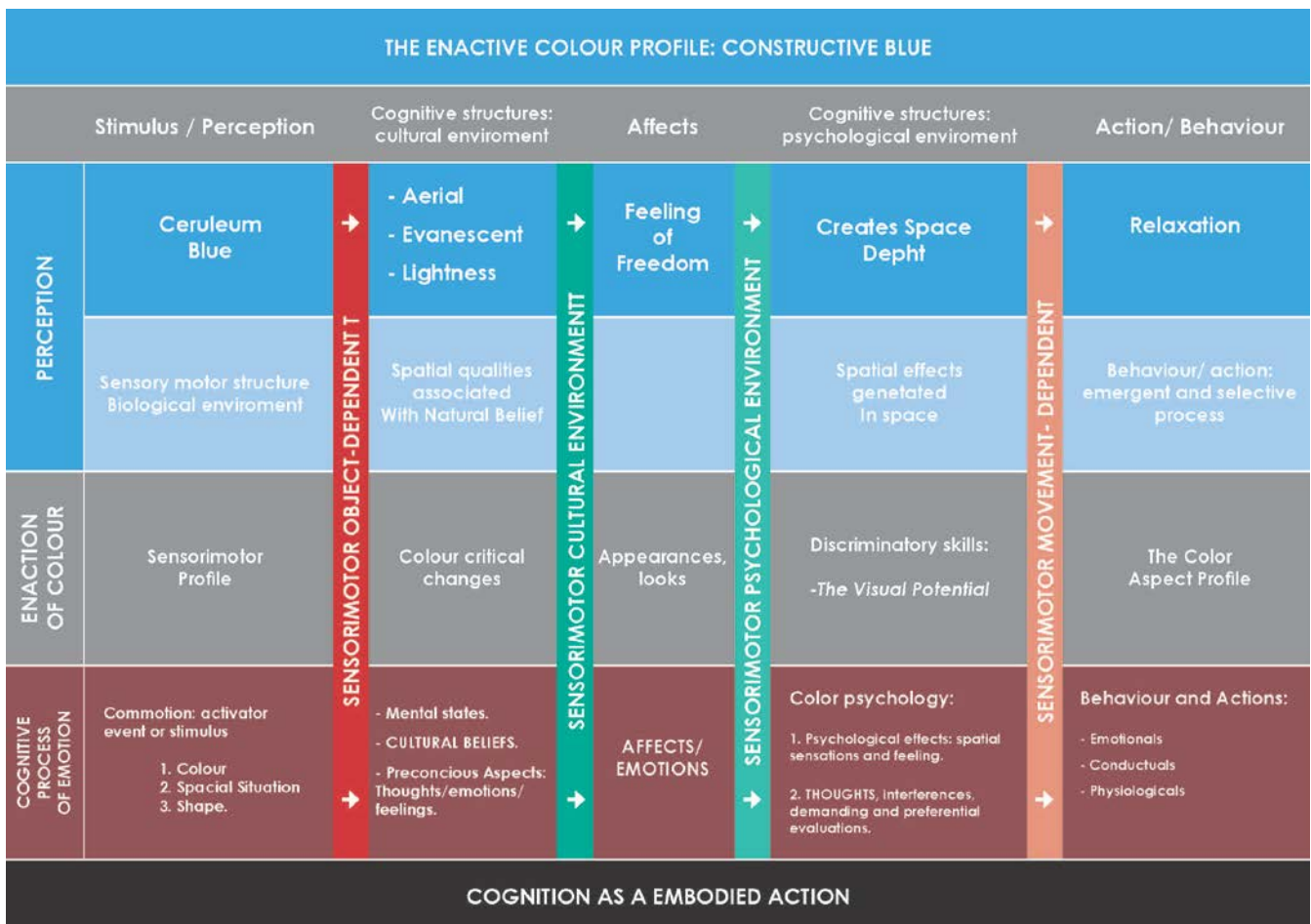


Figura 1: Esquemas del Proceso Cognitivo Emocional de la Experiencia del color en el espacio. Dr. Lopez-Izquierdo

El objetivo último sería confirmar los enunciados de Le Corbusier (1997) cuando afirmaba que el color transformaba la experiencia de la “habitación del hombre”, aportando una base científica al uso del color n arquitectura, y un fundamento a los efectos y las potencialidades del color en el espacio.

### 3. Estrés y Salud

**Tipos de estrés:** La finalidad del uso del color que planteamos en esta ponencia es la reducción del estrés. Intervenimos en el estrés físico/ambiental y mental, distinguiendo entre el estrés agudo y el mantenido. Se valoran las consecuencias anatómicas, fisiológicas y conductuales,

El estrés es una respuesta del cuerpo a condiciones externas negativas de peligro, de amenaza mental o a un medio hostil. La experiencia del estrés se inicia en el cerebro (McEwen, 1998; Sapolsky, 1996) [5], y tiene unas repuestas fisiológicas, psicológicas/emocionales y conductuales. Para muchas personas el estrés puede representar un reto que estimula la obtención de logros y metas, mientras que para otras el estrés representa un estado de preocupación, irritabilidad, temor y frustración (Moscoso, 2011).

El estrés agudo es el que se produce en un corto periodo de tiempo y desaparece rápidamente; ayuda a controlar las situaciones peligrosas, o cuando se plantea un reto o algo nuevo o emocionante. En estos casos la respuesta del organismo es de naturaleza protectora y adaptativa.

El estrés crónico es el que dura un período de tiempo prolongado. En estos casos se produce un desbalance bioquímico en el organismo, que puede conducir al desarrollo de enfermedades (MacPherson, Dinkel, Sapolsky, 2005) [6], se perturba el equilibrio emocional, pudiendo general trastornos conductuales, además de inhibir la creatividad y la autoestima.

**Proceso anatómico y Fisiológico del estrés:** En una situación de gran estrés, la persona siente miedo y su cerebro se posiciona en estado de alarma, poniendo en marcha el mecanismo de supervivencia; se produce un cambio profundo en el riego sanguíneo del cerebro al activarse ciertas áreas cerebrales.

- Se activa la amígdala que proporciona los primeros auxilios en situaciones emocionales extremas, y envía eferencias al hipotálamo y tallo cerebral, para que se active el hipotálamo y el sistema nervioso simpático. A consecuencia de ello, el lóbulo prefrontal que realiza (las funciones intelectuales, la toma de decisiones, de análisis, de aprendizaje, de creatividad etc) empiezan a recibir menos riego sanguíneo, y la persona se concentra y aprende peor, y es menos creativa.
- Se activa el sistema nervioso simpático que prepara al organismo para la lucha, desencadena de forma automática un conjunto de reacciones físicas que tiene impacto en nuestros órganos y vísceras: se produce un mayor aporte de flujo sanguíneo a los músculos esqueléticos del cuerpo (los prepara para correr y huir.), y se disminuye el flujo de sangre a una serie de órganos como por ejemplo - al tubo digestivo generando (“nudo” en el estómago) entre otras patologías; a los órganos sexuales pudiéndose afectar a la fertilidad etc. Se producen alteraciones respiratorias y cardiovasculares, se estimula la producción de adrenalina, y de sudor etc. Este conjunto de acciones es una preparación para la huida, y se desencadenan de forma automática ante cualquier sobresalto, estímulo intenso o situación de ansiedad.
- Se activa el hipotálamo que activa a las glándulas suprarrenales – que inundan la sangre de cortisol y catecolaminas (adrenalina y nor-adrenalina). El cortisol es la hormona del “miedo”, invita a la parálisis o a la huida. Funciona dentro y fuera del cerebro. El cortisol estresa, envejece, engorda y mata neuronas de los hipocampos. Las catecolaminas (adrenalina y nor-adrenalina): funcionan como neurotransmisores en el cerebro y terminaciones nerviosas del sistema nervioso simpático, y como hormonas fuera de él.  
La adrenalina se relaciona con la regulación cardiaca y respiratoria; y la nor-adrenalina tiene efecto vasoconstrictor, aumenta la tensión arterial etc.
- Las personas estresadas o aceleradas tienen un gasto energético muy elevado, aumentándose los radicales libres que aceleran el envejecimiento.

La respuesta al estrés está controlada por los sistemas nervioso, endocrino e inmune.

### 4. Colores Constructivos: Esquemas Espaciales y Efectos en la Conducta

Sabemos por experiencia personal que los entornos naturales favorecen la relajación. C.Ellard (1996) [7] en sus estudios de Psicografía [7] enfoca los efectos psicológicos que produce la naturaleza en la persona, desde el procesamiento visual de los entornos. Los relaciona con el área parahipocampal de lugar (PPA) que se localiza en el lóbulo temporal del cerebro. Ellard postula que esta área sería la candidata más sólida a ser el centro neurálgico que controla nuestras reacciones emocionales a las escenas naturales.

Nuestra hipótesis es que cuando utilizamos grandes manchas de color en la arquitectura, con unas creencias asociadas a los elementos naturales, este proceso se activa contribuyendo a la relajación. No es directamente por las imágenes de los paisajes, sino por medio de los colores asociados a estos, revirtiendo y minimizando los cuadros del estrés que antes explicábamos. Como ya dijimos, este fenómeno denominado Penetración Cognitiva de la Percepción (Lopez-Izquierdo, 2012), es el que se desata en el proceso cognitivo de la emoción expuesto en la figura 1. En esta ponencia nos limitamos al “Azul que parece un cielo”, por la falta de espacio.

En síntesis, un color o concepto constructivo de color, es aquel que tiene una creencia asociada a los entornos naturales, que se aplica según unos protocolos espaciales, con unas propiedades visibles y visuales específicas (Fig.2), siendo el resultado una relajación de la persona. Actualmente se está aplicando en proyectos específicos, sin haber llegado todavía a tener datos empíricos y por tanto conclusiones. Aportamos imágenes de los proyectos en curso: museos, hospitales y centros de Internamiento.Fig.3.

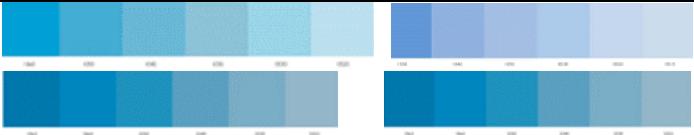


| Creencia                 | Propiedad Visible              | Propiedad Visual                                                                    |
|--------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| “El Cielo es azul”       | Un azul que parece un cielo.   |   |
| “La Vegetación es verde” | Un verde que parece vegetación |   |
| “La tierra es marrón”    | Un marrón que parece tierra    |  |

Figura 2: cuadros y propiedades de los conceptos constructivos de color. Dr. Lopez-Izquierdo

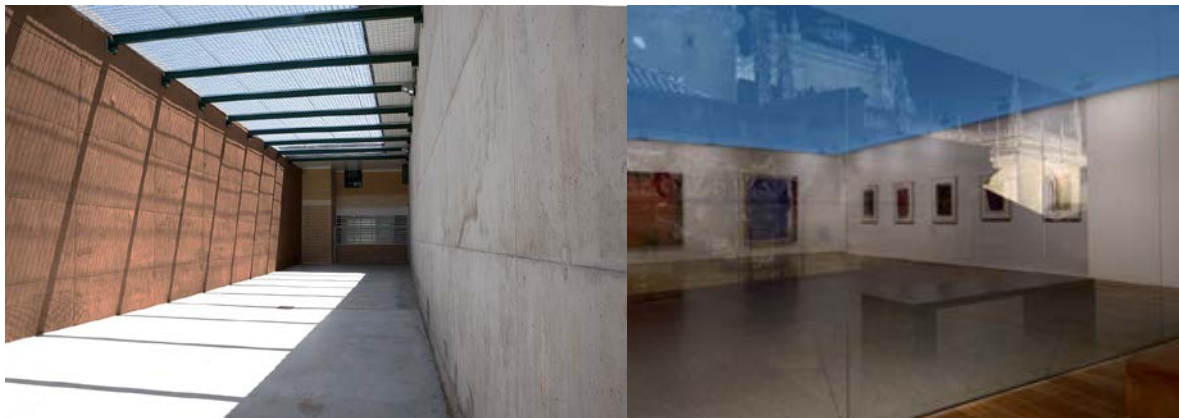


Figura 3. Centro penitenciario y Museo. Dr. Lopez-Izquierdo

**Bibliografía**

- [1] FJ. Varela, E Thompson, E Rosch. *De Cuerpo Presente. Las Ciencias Cognitivas y la Experiencia Humana.* (Gedisa, Barcelona, 2011)
- [2] E. Hita Villaverde. *Algunos aspectos de la Percepcion Cromática.* Granada: Congreso Español del Color. 2000
- [3] A.Becks, *Cognitive Therapy: Basics and Beyond.* 1956. Ellis, A. *Reason and Emotion in Psychotherapy.* (Lyle Stuart, Oxford, 1962)
- [4] P.Lopez-Izquierdo. “La Perception des Espaces Chromatiques”. EHESS, Paris., 2012
- [5] R.M. Sapolsky. *Why stress is bad for your brain.* Science. 273: 749-750. (1996).
- [6] A. MacPherson, K. Dinkel, R. Sapolsky, “*Glucocorticoids worsen excitotoxin-induced expression of pro-inflammatory cytokines in hippocampal cultures*”. Exper. Neurol. 194: 376-383 (2005).
- [7] C. Ellard. *Places of the Heart. The Psychogeography of Everyday Life.* (Edit. ARIEL, 1996)

# Orientaciones cromáticas en centros residenciales de personas mayores para el bienestar.

Ana Torres Barchino<sup>1\*</sup>, Jorge Llopis Verdú<sup>1</sup>, Juan Serra Lluch,<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento Expresión Gráfica Arquitectónica. Universitat Politècnica de València*

<http://www.grupocolor-web.es>

## Resumen:

Se aborda una parte del proceso y resultado del proyecto titulado *Modificaciones del confort visual en centros residenciales para la mejora de la calidad de vida de las personas mayores*, financiado por el Programa Estatal de Investigación Desarrollo e Innovación Orientada a los Retos de la Sociedad, finalizado en el año 2020. Centrado en los modelos existentes institucionales destinados a personas dependientes, se da a conocer la importancia de generar espacios más amables aplicando el color como elemento esencial que ayuda a mejorar la calidad de vida. En este proyecto, se elaboraron una serie de propuestas y orientaciones cromáticas para los espacios interiores de las residencias de tercera edad de la Comunidad Valenciana. Para ello, se procedió a identificar y a analizar los espacios habituales en 20 residencias. La consulta a expertos, a trabajadores y a usuarios-residentes, fueron decisivos para la identificación de la gama cromática, resultado del proyecto.

## 1. El color y el estado de bienestar

Conseguir un modelo asistencial centrado en la persona y que ayude al bienestar físico y emocional, no es algo fácil de lograr, sin embargo, las nuevas propuestas en diseños de alojamiento para personas dependientes y sus distintas modificaciones en torno a la accesibilidad, demuestran que es posible recurrir a una arquitectura donde favorezca una relación positiva entre el residente y su nuevo entorno. Como es sabido, el envejecimiento implica unos cambios biológicos que incluyen ciertos deterioros físicos y sensoriales. Entre las estrategias cromáticas realizadas en los espacios interiores y exteriores en las residencias para lograr un nuevo modelo de alojamiento, merece una particular consideración la incorporación del color como un recurso efectivo que consiga un confort lo más adecuado posible.

La necesidad de generar un ambiente estable y confortable significa humanizarlo, donde el diseño arquitectónico se sitúa en el centro de las necesidades del individuo, un crear algo para otro, que reúna unas buenas condiciones de habitabilidad, ergonomía o sensación psicológica de confort, por lo que las variables perceptivas incidan positivamente en los sujetos. Vale decir que, resolver eficazmente los escenarios donde transcurre la vida más vulnerable, exigen una labor pedagógica a la hora de proyectar y, donde el rol del arquitecto permite aunar el diseño innovador con las funciones realizadas por el personal sanitario en los espacios de trabajo y de la propia organización asistencial.

El ámbito de las ciencias que estudian el envejecimiento como la gerontología, cuyo estudio alcanza el cómo y el por qué envejece el ser humano, permiten abordar varios aspectos relacionados con el Modelo Asistencial Centrado en la Persona (MACP) no solo la mejora general de las condiciones de vida de las personas mayores si no, en la necesidad de analizar y buscar criterios orientados al diseño de espacios, que ayuden a garantizar el buen funcionamiento de un centro. Podemos indicar que, este modelo asistencial centrado en la persona, para obtener una mejora general en la atención y, por tanto, una mejora en la calidad de vida de los/as residentes, se subraya los aspectos de accesibilidad, personalización y confort en el ambiente físico rompiendo con la estética habitual de los grandes centros residenciales. Se trata de generar un espacio adaptado a las necesidades y preferencias del/de la usuario/a que a su vez sirva para generar un espacio acogedor que facilite el reconocimiento por el propio residente como su hogar [1].

Tanto en la orientación del edificio, como en los lugares donde se transita, se descansa o, en definitiva, donde se trabaja y se vive en un entorno centro-residencial, deben considerarse las áreas principales como: comunes y privadas, cuyas condiciones ambientales están relacionadas con la interacción social de las personas y las actividades propias de la vida cotidiana. Según los estudios realizados en el proyecto I+D+i MODIFICA y en este contexto, las recomendaciones de diseño de iluminación y color en espacios

---

\* e-mail: [atorresb@ega.upv.es](mailto:atorresb@ega.upv.es)

arquitectónicos de estos modelos, no siempre están adecuadamente contrastadas científicamente, o no tienen en cuenta simultáneamente los tres requerimientos visuales básicos de la población de edad: físicos, sensoriales y de satisfacción psicológica [2].

La necesidad del color para una arquitectura del bienestar está planteada desde el punto de vista de las experiencias reflejadas en algunos proyectos arquitectónicos, o ensayos sobre cómo se comporta el individuo con determinados colores en los espacios médicos, que se remontan a principios del s. XX. Como ejemplo, en 1912 el reconocido arquitecto Howard Kempt Prossor desarrolla una serie de esquemas cromáticos que aplica en hospitales ingleses para el tratamiento de neurastenias y desórdenes nerviosos, y alcanza cierta relevancia en el ámbito médico [3]. Demostró que el contraste cromático, adecuadamente equilibrado, podía alterar el estado de ánimo de los pacientes y favorecer su recuperación. No obstante, los intentos por reproducir exactamente las condiciones cromáticas planteadas por Prossor no han podido llevarse a cabo debido a una inadecuada notación de los colores que dispuso.

En los últimos años, el tema de la incorporación del color en la arquitectura destinada a la vejez se entiende desde los temas de la psicología ambiental, donde se recurre al estudio relacionado con la atmósfera para hacer más estable la vida de las personas mayores. Por otro lado, las aplicaciones cromáticas basados en códigos en determinados espacios pueden mejorar el rendimiento del servicio y seguridad de las instalaciones. Al mismo tiempo, según se indican en determinados estudios, el color suscita efectos psicológicos y fisiológicos que puede tener un significado simbólico o tener alguna conexión con la experiencia pasada del anciano, despertando así las ondas de la memoria [4]. Por ello, proyectar un diseño arquitectónico destinado a un centro para personas mayores dependientes, podríamos decir que se enfoca desde diversos ámbitos: un diseño adaptado a las necesidades físicas de las personas mayores y, un diseño cromático que se adapte a las sensibilidades emocionales tanto en los espacios interiores como en el entorno que faciliten un estado de bienestar.

Todas las circunstancias y alteraciones propias del envejecimiento complican la adaptación a estos nuevos entornos. Para eliminar esta pérdida de control, es importante entender cómo se ven afectados los usuarios en el entorno construido en función de sus limitaciones físico-sensoriales y partiendo de las capacidades de percepción de la persona, ya que se establecen relaciones con el medio físico en la convivencia cotidiana: el espacio que habita y en el que se desenvuelve. Uno de los problemas más comunes afectados por las personas mayores es el deterioro de la sensibilidad visual y, como consecuencia, la alteración de la percepción cromática ambiental. Además, estos cambios propios del envejecimiento, podrían verse acrecentados por un diseño inadecuado del entorno construido, promoviendo una disminución del sentido del bienestar, lo que a menudo implica un fuerte sentimiento de inseguridad [5].

La accesibilidad visual, entendida como la característica del entorno físico que permite a la persona mayor su utilización con la máxima autonomía personal y que es resuelta mediante el propio diseño arquitectónico, debe ser estudiada en profundidad; así como la necesidad de una autonomía en el propio espacio a través de una estrategia de diseño que implique una estabilidad emocional. Sin embargo, debido a la complejidad que conlleva el estudio de la visión, la percepción del color y el entorno construido en personas mayores, esta relación se ha evaluado en ocasiones muy limitadas [6]. Aunque sí son numerosas las investigaciones que ratifican los efectos negativos que conllevan los espacios monótonos, carentes de interés. A este respecto, cabe resaltar los espacios donde los colores neutros o blancos predominan en la escena cromática.

Los estudios han demostrado que las personas que sufren una baja estimulación muestran signos de inquietud, irritabilidad, dificultades para concentrarse y trastornos de percepción [7]. Por otro lado, existen investigaciones que demuestran que los estados de alta estimulación sensorial pueden llegar a desencadenar disfunciones en el propio organismo. Esto significa que, en la percepción general de espacios visualmente complejos, como, por ejemplo, aquellos intensamente coloridos y gráficos, un elevado grado de información puede llevar a una sobre estimulación, que puede conllevar niveles de estrés perjudiciales. Este hecho es a menudo ignorado por los profesionales diseñadores y arquitectos, quienes deben integrar la variación en un orden visual, y crear un equilibrio entre la baja estimulación y la sobre estimulación [8].

## **2. La importancia del color en la arquitectura interior para RTE**

El color en la arquitectura, ayuda a mejorar no sólo la imagen ambiental de un espacio arquitectónico, sino que desvela un sinfín de efectos psicológicos presentes en las actividades humanas. Es de interés en este estudio, indicar algunas consideraciones de utilidad en el proceso de crear un espacio interior más

confortable para las personas mayores aplicando colores que ayuden a mejorar la calidad ambiental en la arquitectura residencial. Para ello, según el estudio y proceso del trabajo de esta investigación, existen dos grupos claramente identificables que ayuda a guiar en otros proyectos similares de carácter arquitectónico como son, el hecho de que el color es un elemento esencial que genera diversas reacciones en las personas en distintas situaciones y producen efectos psicológicos con amplios matices. Esto es, el color afecta al individuo en un nivel personal y en un nivel grupal [9]. Según se ha podido comprobar durante las entrevistas a los usuarios de las residencias de la Comunidad Valenciana a lo largo del estudio, la luz y el color son dos elementos que se consideran de necesidad en el conjunto de un espacio. Las aplicaciones del color en paramentos, suelos y en otros elementos ambientales, constituye una parte esencial que evoca una diversidad de estados emocionales y las posibilidades de combinaciones adquieren un sentido más o menos estimulantes en la vida cotidiana de estos centros.

Distinguimos, por tanto, dos tipos de indicaciones que ayuda a entender el estudio del color para ser aplicado en un espacio interior consecuente con las preferencias y necesidades en el quehacer diario en las residencias. Consideramos en primer lugar que, el estudio del color tiene propiedades que contribuyen al bienestar de las personas; el color y sus variables contribuyen a mejorar un espacio dependiendo del uso, el comportamiento y de las actividades realizadas por los residentes. En segundo lugar, el color aplicado en un espacio arquitectónico, en elementos construidos (forjados, pilares, entre otros) o en detalles decorativos, genera efectos visuales muy diferentes, por lo que dependerá de un buen estudio del ambiente circundante como la iluminación proyectada, sea ésta natural o artificial. Así mismo, diseñar los espacios para una residencia geriátrica e incorporar el color con buena organización, permite favorecer la comodidad y un ambiente acogedor durante las labores de los trabajadores sanitarios.

### 3. Resultados:

Como resultado de este proyecto, podemos concluir con dos fases fundamentales que permite orientar a las futuras modificaciones cromáticas en los espacios arquitectónicos: en las dos fases de estudio se hace hincapié al estudio particular del diseño de los espacios interiores según el tipo de actividades. En las dos fases se indica que es una orientación al arquitecto y diseñador para la aplicación del color en el espacio interior arquitectónico, junto con la elaboración de una carta cromática para las posibles intervenciones de mejora en las residencias geriátricas.

En la primera fase de estudio, permite describir y comprender las dimensiones de los espacios, sus límites y proporciones, donde la intervención de cualquier color genera cambios perceptivos en los elementos (objetos) y según el tipo de iluminación proyectada. En esta fase, el color permite ayuda a captar la información (textos, imágenes), mediante estrategias visuales como: colores identificativos en gráficos accesibles; señalización en bandas de colores sobre el suelo o en las paredes reconociendo el lugar, los accesos o salidas; un color ayuda a destacar un punto de encuentro orientando al residente. El color ayuda a organizar y dirigir en un espacio arquitectónico como principio y final de un recorrido, permite dirigirnos hacia algún punto en concreto; según las zonas coloreadas y el tipo de color en los límites de un espacio como: los zócalos, las paredes, el suelo o las puertas, permite distinguir mejor la organización y la distribución de pasillos, de salas o dormitorios. Y la forma, la luz y el color, en un espacio arquitectónico, denota un volumen definido por las superficies límite-frontera y su geometría.

**Fig.1**



**Fig. 1** Estos tres espacios que, aisladamente se observan, son representativos en centros geriátricos en la Comunidad Valenciana y, al mismo tiempo mantienen el mismo o parecido diseño con el resto de arquitecturas construidas para la tercera edad en el resto de España, salvo las nuevas construcciones más actuales y con estilos diferentes.

Y, en la segunda fase de estudio: hace referencia a la aplicación del color para revestir las superficies de un espacio interior que, mediante el uso de pintura, deberá aplicarse desde el estudio de la configuración del espacio: las proporciones o la extensión de las superficies. La elaboración de una carta de color ayuda a seleccionar los colores adecuados, teniendo en cuenta tres aspectos fundamentales, los cuales serán una parte necesaria para entender la gama de color preferente para este grupo social: la forma, la luz y el

color, entendiendo los tres aspectos como una sola unidad. En este sentido, se analiza desde la perspectiva del estudio del espacio arquitectónico en los centros residenciales examinados cuya carta de color está basada en los colores preferentes seleccionados previamente por los usuarios-residentes, tomando como base para su selección la discriminación y valoración de una gama de color compuesta y ordenada según la percepción visual de los observadores. Esta carta o paleta de color, es orientativa y pretende ser una herramienta que oriente en los trabajos sobre modificaciones en los espacios interiores arquitectónicos mejorando su percepción, calidad y bienestar de la persona. Fig.2.



**Figura 2:** Estos 18 colores, están subdivididos en 9 tonos que aparecen ordenados en los triángulos siguiendo los códigos del Sistema NCS internacional Norma Española del Color por AENOR desde 1994, Norma UNE 48103. Las combinaciones cromáticas, presentadas mediante una distribución compositiva para su fácil lectura y está basada en una aproximación de las áreas en metros cuadrados a pintar en un espacio interior.


## Bibliografía

- [1] Martínez, T. “La atención centrada en la persona y características de los servicios gerontológicos”. Informes acpgerotología, nº2. (2013).
- [2] Torres, A. Modifica. Modificaciones del confort visual en centros residenciales para la mejora de la calidad de vida de las personas mayores. Ed. Universitat Politècnica de València, (2020)
- [3] Farrer,-Brown, L. Studies in the funtions and design of hospitals. The report of an investigation sponsored by the Nuffield Provincial. London: Oxford University Press (1957).
- [4] Huppert, F.A., Johnson, T. y Nickson, J. High prevalence of prospective memory impairment in the elderly and in early-stage dementia: Findings from a population-based study. Applied Cognitive Psychology, 14, 63-81(2000).
- [5] Ying L., Jinglin H.; Ge Y., Explore on color design of facilities space for adaptacion aging in China IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. (2019).
- [6] Head, D., & Isom, M. “Age effects on wayfinding and route learning skills”. Behavioural Brain Research, 209 (1), pp.49-58 (2010).
- [7] Meerwein, G., Rodeck, B., & Mahnke, F.H,Color communication in architectural space. Walter de Gruyter (2007).
- [8] Delcampo-Carda, A. La arquitectura residencial para personas mayores y los espacios cromáticos para el bienestar, Tesis doctoral. UPV, (2020).
- [9] Küller, R., Mikellides, B., & Janssens,J. Color, arousal, and performance. Color Research & Application, 34 (2), pp.141-152 (2009).



## SESIÓN 3:

# Percepción del Color y Educación



# Elección del tipo de papel e iluminación en impresión para tricrómatas anómalos moderados y severos

Ana Belén López-Baldomero<sup>1\*</sup>, Manuel Rubiño<sup>1</sup>, Carolina Ortiz<sup>1</sup>, y  
Carlos Salas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Óptica, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. Avenida de Fuente Nueva, s/n, 18071 Granada.*

**Resumen:** En este trabajo se han estudiado distintas combinaciones de tipo de papel e iluminación con el objetivo de conseguir el mayor número de colores discernibles por observadores anómalos en muestras impresas. Para ello, se han analizado un total de 47 iluminantes tabulados por la CIE, 8 tipos de papel con distinto acabado y gramaje, y 6 observadores anómalos simulados (tricrómatas anómalos moderados y severos). Los resultados muestran que para cada observador anómalo la mejor combinación de iluminante y papel es distinta, aunque por lo general el iluminante LED-RGB1 junto al papel Canon proporcionan los valores más altos de colores discernibles. También se ha comprobado que la gama más amplia para un observador anómalo no tiene por qué ser la más similar a la del observador normal. Mediante distintos análisis propuestos, cualitativos y cuantitativos, podemos elegir las condiciones más interesantes según el objetivo de la impresión.

## 1. Introducción

Existen alrededor de 200 millones de personas en el mundo que presentan una visión defectiva del color, lo que en numerosas ocasiones supone una dificultad a la hora de realizar diversas tareas de la vida diaria [1]. En los últimos años, se han desarrollado distintas herramientas para ayudar a la discriminación de colores en tareas realizadas a través de pantallas [2], pero no se han encontrado estudios que intenten mejorar esta percepción en muestras impresas. Esto podría tener distintas aplicaciones: desde la optimización de anuncios o mapas con información en color, hasta la generación de test impresos para detectar anomalías en la visión del color [3]. Es por ello que el objetivo de este estudio ha sido encontrar la combinación de tipo de papel e iluminación que consiga el mayor número de colores discernibles en muestras impresas para observadores anómalos. También se han estudiado las condiciones bajo las que estos observadores obtienen las gamas más similares a las de observadores normales, y se han propuesto diversas formas de determinar la combinación de iluminante y tipo de papel que más interesa dependiendo del fin que queramos conseguir.

## 2. Material y métodos

Se han obtenido las reflectancias espectrales (de 380 a 780 nm) de un patrón de 1331 muestras de color, generado a partir de la variación de los primarios de la impresora (cian, magenta y amarillo) de 0 a 100 en pasos de 10 unidades. Las medidas se realizaron con un espectrorradiómetro (PhotoResearch SpectraScan PR-670) de forma totalmente automática, gracias a unos módulos de desplazamiento lateral (Zaber) sobre los que colocábamos el patrón. La geometría de medida fue difusa/0°.

Se han generado las gamas de color obtenidas con 7 observadores distintos, 47 iluminantes y 8 tipos de papel. Combinando las distintas condiciones de observación y medida se han obtenido 2632 gamas.

Los iluminantes utilizados están tabulados por la CIE [4,5] y son los siguientes: A, C, D50 (luz de día, daylight, con una temperatura de color media de 5000 K), D55, D65, D75, 27 iluminantes FL (fluorescent) (FL1, FL2, FL3, FL4, FL5, FL6, FL7, FL8, FL9, FL10, FL11\*, FL12, FL3.1, FL3.2, FL3.3, FL3.4, FL3.5, FL3.6, FL3.7, FL3.8, FL3.9, FL3.10, FL3.11, FL3.12, FL3.13, FL3.14, y FL3.15), 5 iluminantes HP (high-pressure) (HP1, HP2, HP3, HP4 and HP5) y 9 iluminantes LED (LED-B1, LED-B2, LED-B3, LED-B4, LED-B5, LED-BH1, LED-RGB1, LED-V1, LED-V2).

\* e-mail: anabelenlb@ugr.es

El patrón de color se generó con una impresora de inyección de tinta (Epson XP-530) en 8 tipos de papel diferentes, con distinto gramaje y acabado: papel fotográfico (Epson, 167 g/m<sup>2</sup>, mate; Ice Professional, 190 g/m<sup>2</sup>, mate; HP Everyday, 200 g/m<sup>2</sup>, brillante; Canon, 260 g/m<sup>2</sup>, satinado), papel de oficina (Navigator, 80 g/m<sup>2</sup>, satinado; HP Premium, 100 g/m<sup>2</sup>, mate; HP Professional, 120 g/m<sup>2</sup>, brillante) y papel de dibujo (Canson, 200 g/m<sup>2</sup>, satinado).

Para la obtención de los valores CIELAB a partir del observador normal se han utilizado las funciones de igualación xyz2012 [6,7]. Para la simulación de los observadores anómalos se ha considerado el modelo de Machado et al. [1], ya que no está limitado a dicrómatas, permitiendo la simulación de tricrómatas anómalos. Se han obtenido las funciones de igualación xyz2012 anómalas a partir del desplazamiento de las curvas de sensibilidad espectral de los conos LMS. Se han simulado 6 tipos de observadores con visión anómala del color: deuteranómalo y protanómalo moderados, con un desplazamiento de 10 nm en la curva de los conos M y L respectivamente, deuteranómalo y protanómalo severos, con un desplazamiento de 20 nm en las curvas, tritanómalo moderado, con un desplazamiento de 14 nm en la curva del cono S, y tritanómalo severo, con un desplazamiento de 30 nm.

Se ha calculado el número de colores discernibles bajo las distintas condiciones estudiadas. Si asumimos que dos colores son vistos como distintos cuando la diferencia de color en el espacio CIELAB es superior a la unidad ( $\Delta E_{ab} > 1$ ) [8], podemos obtener el número de colores discernibles a partir del volumen de la gama [9]. Hay que tener en cuenta que este parámetro está relacionado con la diversidad cromática, y no se debe considerar como una medida real del número de colores discernibles. Otra limitación es la utilización de un espacio de color no homogéneo [8]. Para el cálculo del volumen de la gama se ha utilizado el algoritmo alpha shapes, con un valor del parámetro  $\alpha$  de 40 [10]. Debido a que la gama de color de un dicrómata es un plano en el espacio CIELAB, no podemos calcular su volumen. Por ello, para poder calcular el número de colores discernibles bajo distintas condiciones, hemos simulado observadores protanómalos y deuteranómalos severos, con un desplazamiento en las curvas de sensibilidad de 19 nm, en lugar de 20 nm.

Por otro lado, para la comparación de gamas de color se ha utilizado una de las métricas propuestas por Deshpande et al. [11], el índice de comparación de gamas de color, GCI (Gamut Comparison Index). Este cuantifica la similitud entre dos gamas de color con valores entre 0 y 1. En nuestro caso, hemos obtenido los valores de GCI comparando los distintos observadores anómalos respecto al observador normal para las mismas combinaciones de papel e iluminante, y hemos multiplicado este valor por el volumen del observador anómalo, obteniendo la combinación que genera la gama más grande y parecida a la del observador normal.

### 3. Resultados y discusión

En la Tabla 1 podemos ver las combinaciones de iluminante y tipo de papel bajo las cuales se han obtenido el mayor y menor número de colores discernibles (equivalente al mayor y menor volumen en el espacio CIELAB) para el observador normal y los distintos observadores anómalos.

| Observador                  | Iluminante/Papel | Volumen CIELAB | Iluminante/Papel | Volumen CIELAB |
|-----------------------------|------------------|----------------|------------------|----------------|
| Normal                      | LED-RGB1/Canon   | 380764         | HP1/Premium      | 36137          |
| Protanómalo moderado (10)   | LED-RGB1/Canon   | 249577         | HP1/Premium      | 28610          |
| Protanómalo severo (19)     | HP2/Canon        | 37203          | FL5/Premium      | 4176           |
| Deuteranómalo moderado (10) | LED-RGB1/Canon   | 206288         | HP1/Premium      | 20530          |
| Deuteranómalo severo (19)   | LED-RGB1/Canon   | 22192          | HP1/Premium      | 2117           |
| Tritanómalo moderado (14)   | D65/Canon        | 322910         | HP1/Premium      | 32045          |
| Tritanómalo severo (30)     | FL3.9/Canon      | 251569         | HP1/Navigator    | 24249          |

**Tabla 1:** Volumen CIELAB para las combinaciones de iluminante y tipo de papel que proporcionan la mayor y menor gama en el observador normal y distintos observadores anómalos. Los números entre paréntesis representan el desplazamiento en nm de las curvas de sensibilidad espectral de los conos.

Como vemos, para la mayoría de los observadores el iluminante LED-RGB1 junto con el papel Canon generan la mayor gama, excepto para el protanómalo severo y el tritanómalo moderado y severo, donde el iluminante es distinto. Por otro lado, en la mayoría de los casos el iluminante HP1 y el papel Premium

son los que producen las menores gamas. Podemos decir que, dependiendo de la anomalía en la visión del color, es mejor una combinación u otra de iluminante y tipo de papel.

Cada una de estas condiciones por separado influye notablemente en la gama obtenida. Por ejemplo, para el protanómalo de 10 nm con el iluminante LED-RGB1, con el papel Premium se generan sólo el 34% de los colores que podemos generar con el papel Canon. Por otro lado, para el mismo observador y el papel Canon, con el iluminante HP1 se generan el 40% de los colores obtenidos con el LED-RGB1.

Linhares et al. [12] calcularon el número de colores discernibles para distintos observadores anómalos con distintos iluminantes. Según estos autores, para el observador normal la mejor iluminación es la FL3.8, produciendo un 8% más de colores que el iluminante D65. Nosotros hemos obtenido que el mejor iluminante sería el LED-RGB1, no evaluado por estos autores, que proporciona un 10.8% más de colores que el D65 (con el papel Canon), lo que supone una mejora de los datos respecto a los de Linhares et al.

En la Tabla 2 se muestran las combinaciones de iluminante y papel que generan los valores más altos de la multiplicación del GCI y el volumen para cada tipo de observador anómalo. El GCI se ha obtenido comparando los distintos observadores anómalos respecto al observador normal para las mismas combinaciones de papel e iluminante.

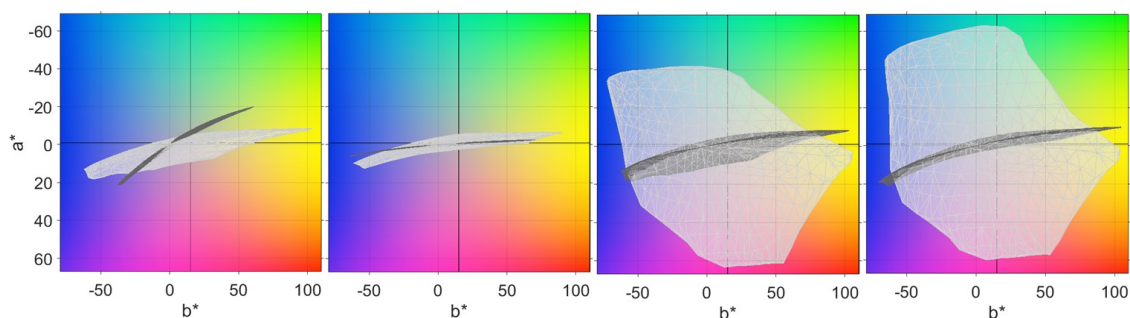
| Comparación con observador normal | Iluminante/Papel | GCI-Volumen |
|-----------------------------------|------------------|-------------|
| Protanómalo moderado (10)         | LED-RGB1/Canon   | 146606      |
| Protanómalo severo (19)           | HP2/Canon        | 3559        |
| Deuteranómalo moderado (10)       | LED-BH1/Canon    | 96345       |
| Deuteranómalo severo (19)         | LED-BH1/Canon    | 983         |
| Tritanómalo moderado (14)         | FL11/Canon       | 282932      |
| Tritanómalo severo (30)           | FL10/Canon       | 164953      |

**Tabla 2:** Combinaciones de iluminante y tipo de papel que generan las gamas más amplias y parecidas a los observadores normales para cada observador anómalo simulado. Los números entre paréntesis representan el desplazamiento en nm de las curvas de sensibilidad espectral de los conos.

Podemos ver que los iluminantes han cambiado respecto a los que generan las gamas más amplias. Por tanto, no siempre el iluminante que genere la gama más amplia va a ser el que genere la gama más parecida a la que sería vista por un observador normal.

Dependiendo del objetivo que queremos conseguir con la imagen que imprimimos podemos elegir entre generar la mayor posibilidad de colores para un observador anómalo que caigan a su vez dentro de la gama de un observador normal, o generar la gama más amplia que coincida lo menos posible con la gama del observador normal (GCI menor). Una aplicación de este último caso podría ser la generación e impresión de test para detectar anomalías en la visión del color [3].

Finalmente, en la Fig. 1 se han representado algunas de las gamas de color en el espacio CIELAB. Así podemos ver el efecto en la cromaticidad, con el fin de elegir unas condiciones u otras dependiendo del área del espacio de color que más nos interese en la impresión.



**Figura 1:** De izquierda a derecha se comparan las siguientes gamas de color: protanómalo 19 nm, HP2/Canon (gris claro) y FL5/Premium (gris oscuro); deuteranómalo 19 nm, LED-RGB1/Canon (claro) y HP1/Premium (oscuro); HP2/Canon, observador normal (claro) y protanómalo 19 nm (oscuro); LED-BH1/Canon, observador normal (claro) y deuteranómalo 19 nm (oscuro).

#### 4. Conclusiones

A partir de los datos obtenidos podemos conocer la combinación de iluminante y tipo de papel que genera el mayor número de colores discernibles para muestras impresas según el tipo de observador anómalo. Por lo general, el iluminante LED-RGB1 junto al papel Canon proporcionan los valores más altos, mientras que el HP1 y el papel Premium proporcionan los valores más bajos de colores discernibles. Debemos tener en cuenta que no siempre la gama más amplia va a ser la más similar respecto al observador normal. Por otro lado, gracias a la representación y comparación de gamas en 3D podemos saber cómo cambia la distribución de estos colores en el espacio cromático, con el objetivo de elegir las condiciones que más nos interesen.

**Agradecimientos:** Investigación financiada por el contrato predoctoral (Programa de Formación de Investigadores, Plan Propio 2020, Universidad de Granada). También agradecer el apoyo del Grupo de Óptica (FQM151, Universidad de Granada).

#### Bibliografía

- [1] G. M. Machado, M. M. Oliveira, and L. Fernandes, “A Physiologically-based Model for Simulation of Color Vision Deficiency,” *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 15, no. 6, pp. 1291–1298, Nov. 2009.
- [2] N. M. Keresteš, S. Đurđević, D. Novaković, M. Zarić, N. Kašiković, S. Dedijer, and G. Vladić, “Customized daltonization: adaptation of different image types for observers with different severities of color vision deficiencies,” *Universal Access in the Information Society*, Oct. 2021.
- [3] C. Salas Hita, “Nuevo test para la detección y evaluación de anomalías en la visión del color,” Ph.D dissertation, Universidad de Granada, 2016. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10481/43552>
- [4] CIE, “Colorimetry, 3th ed.,” CIE Central Bureau, Vienna, Austria, Tech. Rep. 015:2004, 2004.
- [5] CIE, “Colorimetry, 4th ed.,” CIE Central Bureau, Vienna, Austria, Tech. Rep. 015:2018, 2018.
- [6] CIE, “Fundamental chromaticity diagram with physiological axes – Part 1,” CIE Central Bureau, Vienna, Austria, Tech. Rep. 170-1:2006, 2006.
- [7] Color Vision & Research Laboratory, University College London. (2022, Feb 26). CIE (2012) 2-deg XYZ “physiologically-relevant” colour matching functions. [Online]. Available: <http://www.cvrl.org/database/text/cienewxyz/cie2012xyz2.htm>
- [8] M. Á. Martínez-Domingo, E. M. Valero, L. Gómez-Robledo, R. Huertas, and J. Hernández-Andrés, “Spectral Filter Selection for Increasing Chromatic Diversity in CVD Subjects,” *Sensors*, vol. 20, no. 7, p. 2023, Apr. 2020, doi: 10.3390/s20072023.
- [9] S. Wen, “Display gamut comparison with number of discernible colors,” *Journal of Electronic Imaging*, vol. 15, no. 4, p. 043001, Oct. 2006.
- [10] ISO/TC 130, “Image quality evaluation methods for printed matter — Part 11: Colour gamut analysis”, Tech. Spec. ISO/TS 18621-11:2019, 2019.
- [11] K. Deshpande, P. Green, and M. R. Pointer, “Metrics for comparing and analyzing two colour gamuts,” *Color Research & Application*, vol. 40, no. 5, pp. 465–471, Oct. 2014.
- [12] J. M. M. Linhares, P. E. R. Felgueiras, P. D. Pinto, and S. M. C. Nascimento, “Colour rendering of indoor lighting with CIE illuminants and white LEDs for normal and colour deficient observers,” *Ophthalmic and Physiological Optics*, vol. 30, no. 5, pp. 618–625, Aug. 2010.

# Validación de una escena de Realidad Virtual aplicando mejoras hiperespectrales en el escenario.

Francisco Díaz-Barrancas<sup>1\*</sup>, Halina Cwierz,<sup>2</sup> y Pedro J. Pardo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Departamento de Psicología, Justus-Liebig Universität, Alter Steinbacher Weg 38, Gießen, Hesse, 35394, Alemania.*

<sup>2</sup> *Departamento de Ingeniería de Sistemas Informáticos y Telemáticos, Universidad de Extremadura, Centro Universitario de Mérida, C/Santa Teresa de Jornet 38, Mérida E06800, España.*

**Resumen:** Los entornos de realidad virtual (RV) ofrecen cada vez más contenidos de mayor calidad y utilizan diferentes técnicas informáticas para mejorar la experiencia de uso final. En este trabajo, aplicamos técnicas de calibración del dispositivo de RV, creamos diferentes fuentes de luz, midiendo la radiancia de éstas en un entorno real e introducimos texturas espectrales en la representación de los objetos con el fin de aumentar la calidad del entorno de RV. Con el objetivo de validar la mejora conseguida, primero calculamos la diferencia de color entre los objetos reales y los virtuales sin y con texturas hiperespectrales. Además, realizamos un estudio cuantitativo mediante la observación de usuarios para demostrar que las texturas espectrales mejoran la percepción final del usuario en contenidos de RV.

## 1. Introducción

La realidad virtual (RV) ha experimentado un gran desarrollo en los últimos años. La mejora en la calidad de los Head Mounted Displays (HMD) permite que las experiencias visuales inmersivas en entornos virtuales sean cada vez más reales y que se estén adoptando en infinidad de campos [1-3]. La calidad de estas experiencias inmersivas es un factor clave y en gran medida, depende de la capacidad de generar la sensación de presencia espacial. Desde esta perspectiva, la RV se consigue generando diferentes estímulos que intentan engañar a nuestros sentidos, llevando al cerebro la información correspondiente a una situación que no es real. A lo largo de los años, ha habido varios intentos de lograr este objetivo de engañar a nuestros sentidos provocando una mínima fatiga visual. Desde el punto de vista de la calidad de la imagen inmersiva en un escenario de RV, hemos visto cómo se han realizado grandes esfuerzos en la aplicación de técnicas de gráficos por ordenador para mejorar el renderizado final. Algunos ejemplos son el trazado de rayos [4], el seguimiento ocular [5] o el renderizado basado en zonas [6]. Todas estas mejoras hacen que los sistemas de RV sean más realistas, pero ninguna de ellas se centra en la fidelidad del color utilizando diferentes fuentes de luz. Sin embargo, al igual que en el mundo físico la fuente de luz juega un papel determinante en el sistema visual humano y en la forma en que percibimos el color de los objetos, también lo hace en la RV. Por ello, es necesario utilizar técnicas avanzadas como el uso de información espectral en la textura de color asignada a un objeto para crear una sensación de realismo completa [7]. En este trabajo hemos aplicado dichas técnicas y hemos validado el modelo, primero mediante la medición física y la comprobación de diferencia de color y segundo, mediante la entrevista a diferentes observadores que han puntuado el escenario en función a su similitud con la realidad.

## 2. Creación del escenario virtual

El primer paso para realizar la correcta simulación del escenario real en un entorno de RV fue el de calibrar el dispositivo de reproducción del escenario en nuestro caso un visor HTC Vive (8 bits de profundidad de color por canal). Para ello, utilizamos los conocimientos adquiridos en trabajos previos donde se explica la importancia de una calibración en entornos digitales y cómo podemos conseguirlo de una manera eficiente en entornos de RV [8]. A continuación, se detallan las fórmulas utilizadas (Ec.1 y Ec.2) para el desarrollo de software en un entorno virtual, el cuál recibe como entrada unos valores triestímulos XYZ y devuelve unos valores primarios RGB normalizados para que el motor gráfico pueda entender cuál es la salida de representación a dichos valores. Para poder aplicar esta ecuación, previamente

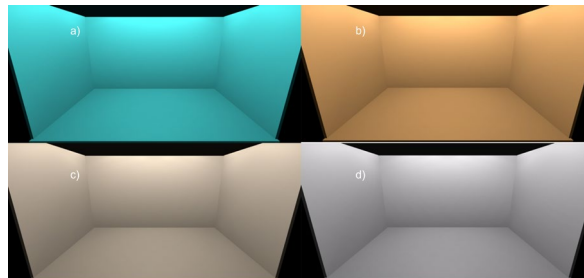
\* e-mail: frdiaz@unex.es

hemos comprobado la aditividad de los primarios. Hemos obtenido por tanto una gamma diferente para cada canal, la cual se aplicará para conseguir la linealidad del sistema.

$$\begin{aligned} R^s &= R^y \\ G^s &= G^y \\ B^s &= B^y \end{aligned} \quad (1)$$

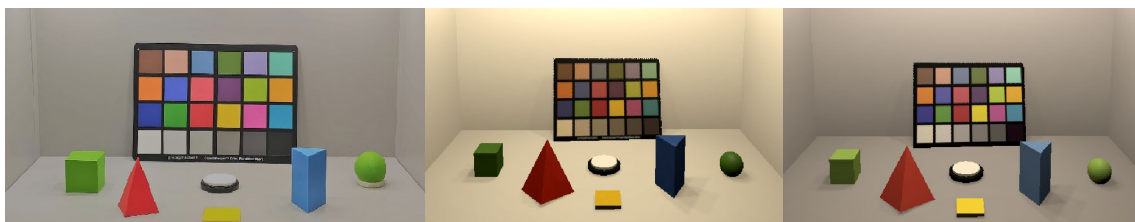
$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{R'max} & X_{G'max} & X_{B'max} \\ Y_{R'max} & Y_{G'max} & Y_{B'max} \\ Z_{R'max} & Z_{G'max} & Z_{B'max} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{pmatrix} \quad (2)$$

El segundo paso de nuestro sistema fue simular diferentes fuentes de luz en un sistema de RV utilizando sus curvas de distribución espectral de potencia (SPD), definidas en archivos separados. Unity Engine nos permite leer esos archivos e incorporar las diferentes SPDs a un script que calcula el valor tristímulo para cada fuente de luz utilizando el observador patrón colorimétrico CIE 1931. Mediante el modelo de caracterización cromática definido anteriormente, podemos obtener el valor RGB necesario para simular cada fuente de luz en un sistema de RV. Para este trabajo, se han seleccionado 4 fuentes luminosas (D50, D65, iluminante A e iluminante de 2 picos con ausencia de primario rojo) para comparar la apariencia visual de diferentes objetos a los que se les ha aplicado texturas hiperespectrales. Estas escenas representan una cabina de luz LED (Just Normlicht) con 12 focos LED. En la Fig. 1 podemos ver representadas las diferentes escenas con las diferentes fuentes luminosas sin el uso de técnicas hiperespectrales.



**Figura 1.** Escenarios con las 4 fuentes luminosas desarrolladas: a) 2 picos, b) A, c) D50 y d) D65.

Por último, hemos creado una serie de objetos geométricos con una impresora 3D, hemos medido su reflectancia mediante el espectroradiómetro Konica-Minolta CS2000 por un lado, y hemos obtenido la textura RGB por otro lado mediante un escáner de mano. Una vez realizado esto, hemos creado un escenario real con las figuras geométricas junto a un blanco absoluto y a un ColorChecker. Hemos simulado este escenario en dos entornos virtuales, uno de ellos con las texturas RGB obtenidas mediante el escáner de mano, y el otro de ellos utilizando las texturas hiperespectrales medidas y realizando el cálculo de color con la fuente luminosa que se representa en cada caso [9]. En la Fig. 2 se muestra la comparativa bajo el iluminante D50 de un escenario real (izquierda), un escenario virtual utilizando las texturas RGB (central) y un escenario virtual utilizando las texturas hiperespectrales (derecha).



**Figura 2.** Izquierda: Escenario real creado a partir de objetos impresos en una impresora 3D y un ColorChecker bajo un iluminante D50, Centro: Escenario virtual que simula el escenario real creado bajo el mismo iluminante D50 y con texturas RGB, Derecha: El mismo escenario virtual bajo el iluminante D50 pero con texturas hiperespectrales.

### 3. Validación mediante mediciones físicas

Como primer punto de comprobación, es necesario verificar que aplicando texturas hiperespectrales a los objetos 3D podemos obtener una mayor fidelidad en la reproducción del color cuando aplicamos

cambios espectrales a las fuentes de luz. Para realizar esta comprobación, hemos medido el color de los objetos 3D (no hemos incluido el ColorChecker) mostrados en el escenario de RV bajo las 4 fuentes de luz utilizadas en este trabajo. Hemos realizado estas mediciones de dos formas, aplicando la textura hiperspectral y el cálculo espectral del color y aplicando únicamente la textura RGB proporcionada por el escáner 3D. Las medidas obtenidas las hemos comparado con las medidas tomadas en el escenario real. Para calcular la diferencia de color, hemos utilizado la fórmula CIEDE 2000. La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos al calcular la diferencia de color entre el escenario real y el escenario virtual sin texturas hiperspectrales y los resultados entre el escenario real y el escenario virtual con texturas hiperspectrales.

| Objeto              | CIEDE 2000 sin texturas hiperspectrales |             |             |             | CIEDE 2000 con texturas hiperspectrales |             |             |             |
|---------------------|-----------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                     | 2 Peaks                                 | D50         | A           | D65         | 2 Peaks                                 | D50         | A           | D65         |
| Pirámide Roja       | 8.24                                    | 0.80        | 4.14        | 0.91        | 2.18                                    | 0.70        | 3.75        | 0.41        |
| Cubo y esfera Verde | 8.60                                    | 6.53        | 3.51        | 6.02        | 1.83                                    | 1.48        | 1.66        | 1.55        |
| Prisma Azul         | 11.66                                   | 7.41        | 3.24        | 8.02        | 5.31                                    | 3.65        | 2.08        | 2.93        |
| <b>Average</b>      | <b>9.5</b>                              | <b>4.91</b> | <b>3.63</b> | <b>4.98</b> | <b>3.10</b>                             | <b>1.94</b> | <b>2.49</b> | <b>1.63</b> |

**Tabla 1.** Diferencia de color obtenida en el escenario virtual sin mejora respecto al real y en el escenario virtual con mejoras frente al real.

#### 4. Validación mediante observadores

Con el objetivo de realizar una validación mediante observadores reales con visión del color normal y con edades comprendidas entre los 20 y 40 años, preparamos el siguiente escenario de verificación: por un lado, los usuarios podían ver el escenario real con los objetos 3D, el blanco absoluto y el ColorChecker, por otro lado tenían el mismo escenario simulado en RV con texturas RGB y finalmente, otro escenario virtual con la misma representación y fuente luminosa pero aplicando técnicas hiperspectrales para el cálculo del color en los objetos. Por lo tanto, la metodología que seguimos fue la de comparar 2 a 2 la escena real con el escenario virtual sin mejoras primero, y el escenario real con el escenario virtual con mejoras después. La comparación se realizó directamente con un escenario al lado del otro, aunque en todos los cambios de luz el usuario tenía un tiempo para adaptarse a la fuente luminosa. Las preguntas realizadas a los observadores se centraron en comparar la fidelidad cromática de los objetos 3D (pirámide, cubo, esfera y prisma), básicamente son los 3 primarios (rojo, verde y azul). Esto se repitió para cada una de las 4 fuentes luminosas, mostrándose 5 veces cada una de ellas (20 muestras por usuario). La muestra poblacional fue de 5 usuarios, pero cada uno de ellos repitió la prueba 3 veces, con lo cual obtuvimos 60 muestras (20 muestras por prueba x 3 pruebas) por usuario para cada comparación. En total se obtuvieron 300 muestras para cada comparación 2 a 2.

Previamente a realizar la comparación del escenario sin mejora respecto al real vs el escenario con mejora respecto al real, es necesario realizar alguna comprobación inicial, como es la comprobación de que el conjunto de datos sigue una distribución normal, mediante la prueba Lilliefors [10] se ha realizado la comprobación de que el conjunto de datos sigue una distribución normal. Esta prueba se utiliza para probar la hipótesis nula de que los datos provienen de una población con distribución normal. El resultado de esta prueba indicó que nuestro conjunto de datos no seguía una distribución normal, por lo que, en lugar de hacer un análisis de la varianza de tipo paramétrico, se les aplicó el test de Wilcoxon, que no presenta ese requisito de normalidad al ser una prueba no paramétrica. A continuación, estableceremos explícitamente el criterio para aceptar o no la hipótesis nula antes enunciada basada en la prueba de Wilcoxon. Se ha establecido un nivel de confianza de 95 %, lo que nos deja un nivel de significación  $\alpha$  de 0.05.

#### 5. Resultados

Para comprobar la mejora obtenida en cuanto a percepción visual de los observadores en el nuevo escenario desarrollado, se planteó un modelo de validación mediante la observación y puntuación de usuarios comparando el escenario sin mejoras respecto al escenario real por un lado, y el escenario con texturas hiperspectrales respecto al escenario real, por otro. Trabajos previos habían demostrado que las texturas hiperspectrales mejoraban la representación colorimétrica de los objetos representados desde un punto de vista de la medida física [11].

En la Fig. 2 se pueden ver las diferencias establecidas en la media y desviación típica entre los diferentes primarios sin el uso de texturas hiperespectrales frente al mismo escenario con texturas hiperespectrales. Como se puede observar en todos los primarios existen diferencias significativas, siendo el primario azul el que más refleja la mejora obtenida.

| Color | Sin mejora gráfica |                   | Con mejora gráfica |                   |
|-------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
|       | Media              | Desviación típica | Media              | Desviación típica |
| Rojo  | 3.51               | 0.53              | 4.46               | 0.56              |
| Verde | 2.53               | 0.56              | 4.65               | 0.48              |
| Azul  | 2.48               | 0.59              | 4.71               | 0.45              |

**Tabla 2.** Media y desviación típica obtenida en cada uno de los primarios RGB sin el uso de texturas hiperespectrales (sin mejora gráfica) frente al uso de texturas hiperespectrales (con mejora gráfica).

## 6. Conclusiones

A la vista de los resultados obtenidos, podemos extraer varias conclusiones relacionadas con la introducción de la información hiperespectral en un sistema de RV. En primer lugar, se ha conseguido realizar la calibración correspondiente al visor de RV para asegurar una alta fidelidad en la reproducción de los colores. En segundo lugar, hemos comprobado que la introducción de texturas hiperespectrales en los sistemas de RV, reducen el error en diferencia de color. Por último, podemos afirmar que dichas mejoras se ven reflejadas en la percepción final del observador ya que indican que estos perciben una diferencia significativa no solo en el escenario en general sino en cada una de las preguntas que se establecieron para comprobar el funcionamiento del sistema (colores rojos, verdes y azules).

**Agradecimientos:** Este trabajo ha sido realizado gracias a la ayuda IB20094 y ha sido parcialmente financiado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional.Á

## Bibliografía

- [1] Wang, Y., Liu, W., Meng, X., Fu, H., Zhang, D., Kang, Y. ... & Jiang, G. (2016). Development of an immersive virtual reality head-mounted display with high performance. *Applied optics*, 55(25), 6969-6977.
- [2] Xu, M., & Hua, H. (2017). High dynamic range head mounted display based on dual-layer spatial modulation. *Optics express*, 25(19), 23320-23333.
- [3] Cwierz, H., Díaz-Barrancas, F., Llinás, J. G., & Pardo, P. J. (2021). On the Validity of Virtual Reality Applications for Professional Use: A Case Study on Color Vision Research and Diagnosis. *IEEE Access*, 9, 138215-138224.
- [4] Wald, I., Dietrich, A., Benthin, C., Efremov, A., Dahmen, T., Gunther, J. ... & Slusallek, P. (2006, September). Applying ray tracing for virtual reality and industrial design. In *2006 IEEE Symposium on Interactive Ray Tracing* (pp. 177-185). IEEE.
- [5] Clay, V., König, P., & Koenig, S. (2019). Eye tracking in virtual reality. *Journal of eye movement research*, 12(1).
- [6] Seay, A. F., Krum, D. M., Hodges, L., & Ribarsky, W. (2001, March). Simulator sickness and presence in a high FOV virtual environment. In *Proceedings IEEE Virtual Reality 2001* (pp. 299-300). IEEE.
- [7] Diaz-Barrancas, F.; Cwierz, H.; Pardo, P.; Perez, A.; Suero, M. Improvement of realism sensation in virtual reality scenes applying spectral and colour management techniques. In *Proceedings of the 25th Symposium of the International Colour Vision Society (ICVS 2019), Riga, Latvia , 5-9 July 2019*; p. 79.
- [8] Díaz-Barrancas, F., Cwierz, H., Pardo, P. J., Pérez, Á. L., & Suero, M. I. (2020). Spectral color management in virtual reality scenes. *Sensors*, 20(19), 5658.
- [9] Díaz-Barrancas, F., Cwierz, H., & Pardo, P. J. (2021). Real-Time Application of Computer Graphics Improvement Techniques Using Hyperspectral Textures in a Virtual Reality System. *Electronics*, 10(22), 2852.
- [10] Lilliefors, H. W. (1967). On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American statistical Association*, 62(318), 399-402.
- [11] Díaz-Barrancas, F., Cwierz, H., Pardo, P. J., Suero, M. I., & Perez, A. L. (2019, September). Hyperspectral textures for a better colour reproduction in virtual reality. In *Proceedings of the XV Conferenza del Colore, Macerata, Italy* (pp. 5-7).

# Utilización de filtros gaussianos para la predicción del efecto Bezold en muestras de color dispuestas sobre redes de Ronchi

Ignacio Tortajada <sup>1</sup>, José Vicente Del Valle <sup>2</sup>, Fernando Brusola <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación en Tecnologías Gráficas de la Universitat Politècnica de València

<sup>2</sup> Alumno del Programa de Doctorado de Diseño, Fabricación y Gestión de Proyectos Industriales de la Universitat Politècnica de València

<http://www.upv.es>

**Resumen:** Hasta la fecha no se ha desarrollado un modelo definitivo que permita predecir con fiabilidad la sensación de color que se produce al observar estímulos de color dispuestos sobre determinados tipos de patrones compuestos por tramas de inducción sobre fondos en color o redes de Ronchi. En este trabajo se presenta un método basado en la utilización de filtros gaussianos que permite, de manera aproximada, predecir la variación de sensación de color que se produciría sobre una muestra al ser observada cuando se dispone sobre alguno de los patrones citados. La aproximación es de carácter visual/cualitativo y supone un paso más hacia el desarrollo de un modelo cuantitativo para la predicción del fenómeno.

## 1. Introducción

A principios del siglo XIX Chevreul descubrió que los colores rodeados de zonas claras aparentan ser más oscuros de lo que realmente son y que los colores rodeados de zonas oscuras aparentan ser más claros de lo que realmente son [1]. Además, al observar prolongadamente una imagen con predominancia de un determinado tono, en las zonas adyacentes a la imagen observada se percibía una cierta tendencia a la modificación de la sensación del tono de color en el sentido del tono del color complementario a la imagen de referencia. A este fenómeno se le denomina contraste simultáneo. Sin embargo, en determinadas ocasiones, dependiendo del tipo de fondo utilizado o del patrón de los colores adyacentes, se produce un fenómeno contrario al contraste simultáneo que ocurre cuando el patrón utilizado se presenta con frecuencias espaciales elevadas. Este fenómeno fue descubierto por Bezold [2]. Muchos son los factores que influyen en la percepción del efecto, como los descritos por Newhall [3] (experiencia y observador), Wright [4] (aberración cromática, adaptación local y movimiento ocular) y, más recientemente, Montalvá y otros [5-7] (orientación, distancia y tipo de patrón).

Aún no se ha desarrollado un modelo satisfactorio que permita predecir con fiabilidad la sensación de color que se produce cuando los estímulos luminosos se observan con fondos constituidos por tramas de inducción sobre fondos en color o redes de Ronchi. Muchos intentos para modelizar el fenómeno han sido publicados [8-15]. Blakeslee y McCourt [16, 17] plantean el uso de filtros gaussianos direccionales para explicar el fenómeno, pero aplicados exclusivamente sobre muestras en escala de grises. Aquí se presenta un método que sigue la línea de dichas investigaciones aplicadas sobre versiones coloreadas del patrón original, allanando el camino para encontrar un modelo complementario a otros ya existentes que permita predecir la sensación de color de un parche bajo la influencia de una trama de líneas coloreadas.

## 2. Método

Se ha generado una colección de seis patrones de Ronchi similares a los usados por Montalvá y otros [5-7] con las especificaciones de color utilizadas por Milkovic, Matijevic y Mrvac [18] para las redes de inducción de White [8, 9], mediante funciones programadas en MATLAB, tal y como se observa en la figura 1. Cada patrón está formado por dos fondos cuadrados sobre los que se dispone la misma muestra cuadrada de color y sobre la que se dispone un conjunto de franjas cuyo ancho es igual a la separación entre las mismas. Las especificaciones de color del fondo y de las franjas se intercambian entre las disposiciones izquierda y derecha de cada patrón, mientras que se mantiene constante la especificación del color de la muestra central cuadrada. Cada patrón se ha guardado en un archivo de imagen *tif* de aproximadamente 900x450 pixel, lo que a 150 dpi de resolución corresponde con unas dimensiones aproximadas de 7,5 x 15 cm. Es decir, cada fondo cuadrado tiene unas dimensiones de 7,5 cm de lado, lo que a la distancia de lectura de 45 cm subtende un ángulo de 10°. Las franjas, a la resolución indicada, tienen un ancho aproximado de 3,5 mm (20 pixel) y subtenden 0,2° a la distancia de lectura. Se disponen 10 franjas sobre cada fondo, correspondiendo con una frecuencia espacial 2 franjas o líneas por centímetro (2 cm<sup>-1</sup>). La muestra central cuadrada tiene un lado aproximadamente igual a la mitad del lado del fondo.

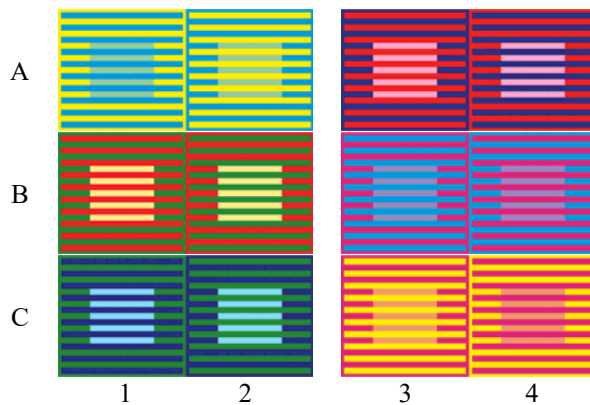


Figura 1

Las especificaciones de color empleadas para generar los patrones mostrados en la figura 1 corresponden con lo indicado en la tabla 1.

Posteriormente, se aplica sobre cada patrón un filtro gaussiano con  $\sigma = 40$ , que corresponde con el ancho de las franjas en píxeles. Se experimentaron diferentes valores de  $\sigma$  y se llegó a la conclusión que los mejores resultados del filtrado, en cuanto a la capacidad de predicción de la sensación de color producida por el patrón de Ronchi sobre la muestra, correspondían con igualar  $\sigma$  al ancho en píxeles de las franjas del patrón.

| Fila y columna según la distribución de muestras indicada en la figura 1 | Especificación del color de las franjas principales |               |          | Especificación del color del fondo |               |          | Especificación del color del estímulo luminoso a observar |               |          |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------|----------|------------------------------------|---------------|----------|-----------------------------------------------------------|---------------|----------|
|                                                                          | $L^*$                                               | $C_{ab}^{**}$ | $h_{ab}$ | $L^*$                              | $C_{ab}^{**}$ | $h_{ab}$ | $L^*$                                                     | $C_{ab}^{**}$ | $h_{ab}$ |
| A1                                                                       | 60                                                  | 43            | 249      | 90                                 | 91            | 96       | 75                                                        | 29            | 149      |
| A2                                                                       | 90                                                  | 91            | 96       | 60                                 | 43            | 249      | 75                                                        | 29            | 149      |
| B1                                                                       | 50                                                  | 86            | 36       | 50                                 | 57            | 142      | 90                                                        | 45            | 96       |
| B2                                                                       | 50                                                  | 57            | 142      | 50                                 | 86            | 36       | 90                                                        | 45            | 96       |
| C1                                                                       | 25                                                  | 51            | 299      | 50                                 | 57            | 142      | 80                                                        | 29            | 239      |
| C2                                                                       | 50                                                  | 57            | 142      | 25                                 | 51            | 299      | 80                                                        | 29            | 239      |
| A3                                                                       | 50                                                  | 86            | 36       | 25                                 | 51            | 299      | 75                                                        | 35            | 352      |
| A4                                                                       | 25                                                  | 51            | 299      | 50                                 | 86            | 36       | 75                                                        | 35            | 352      |
| B3                                                                       | 60                                                  | 43            | 249      | 50                                 | 70            | 0        | 60                                                        | 29            | 301      |
| B4                                                                       | 50                                                  | 70            | 0        | 60                                 | 43            | 249      | 60                                                        | 29            | 301      |
| C3                                                                       | 90                                                  | 91            | 96       | 50                                 | 70            | 0        | 70                                                        | 46            | 49       |
| C4                                                                       | 50                                                  | 70            | 0        | 90                                 | 91            | 96       | 70                                                        | 46            | 49       |

Tabla 1: Especificaciones del color de los estímulos luminosos utilizados en los patrones de la figura 1.

La expresión que define la función de pesos del filtro gaussiano es:  $g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}}$ , donde  $x$  es la distancia horizontal, medida en píxeles, desde el origen de aplicación del filtro,  $y$  es la distancia vertical desde el origen de aplicación del filtro, medida en píxeles, y  $\sigma$  es la desviación típica. Una vez aplicado el filtro, se compara la apariencia del color resultante del estímulo original observado bajo condiciones estándar [19] (figura 2-a), en presencia de la red de Ronchi seleccionada (figura 2-b), al aplicar el filtro al conjunto estímulo-red de Ronchi (figura 2-c) y al observar el estímulo bajo condiciones estándar con una muestra de color tomada en el área central de la imagen filtrada anterior (figura 2-d)

### 3. Resultados

Los datos y los resultados obtenidos aplicando el método indicado en el apartado anterior, se muestran en la tabla 2 y en la figura 2

| Referencias de las redes de Ronchi mostradas en la fig. 2b correspondientes con las indicadas en la fig. 1 | Apariencia de color del estímulo luminoso observado bajo condiciones estándar (fig. 2a) |               |          | Apariencia de color del estímulo filtrado, predicha por el modelo, observado bajo condiciones estándar (fig. 2d) |               |          | Viraje predicho de la apariencia de color |                      |                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|-------------------------------------------|----------------------|-----------------|
|                                                                                                            | $L^*$                                                                                   | $C_{ab}^{**}$ | $h_{ab}$ | $L^*$                                                                                                            | $C_{ab}^{**}$ | $h_{ab}$ | $\Delta L^*$                              | $\Delta C_{ab}^{**}$ | $\Delta h_{ab}$ |
| A1                                                                                                         | 75                                                                                      | 29            | 149      | 68                                                                                                               | 23            | 211      | -7                                        | -6                   | 62              |
| A2                                                                                                         | 75                                                                                      | 29            | 149      | 83                                                                                                               | 52            | 108      | 8                                         | 23                   | -41             |
| B1                                                                                                         | 90                                                                                      | 45            | 96       | 74                                                                                                               | 48            | 65       | -16                                       | 3                    | -31             |
| B2                                                                                                         | 90                                                                                      | 45            | 96       | 75                                                                                                               | 43            | 110      | -15                                       | -2                   | 14              |
| C1                                                                                                         | 80                                                                                      | 29            | 239      | 62                                                                                                               | 28            | 255      | -18                                       | -1                   | 16              |
| C2                                                                                                         | 80                                                                                      | 29            | 239      | 68                                                                                                               | 25            | 203      | -12                                       | -4                   | -36             |
| A3                                                                                                         | 75                                                                                      | 35            | 352      | 64                                                                                                               | 48            | 10       | -11                                       | 13                   | 18              |
| A4                                                                                                         | 75                                                                                      | 35            | 352      | 58                                                                                                               | 33            | 334      | -17                                       | -2                   | -18             |
| B3                                                                                                         | 60                                                                                      | 29            | 301      | 60                                                                                                               | 33            | 272      | 0                                         | 4                    | -29             |
| B4                                                                                                         | 60                                                                                      | 29            | 301      | 55                                                                                                               | 44            | 339      | -5                                        | 15                   | 38              |
| C3                                                                                                         | 70                                                                                      | 46            | 49       | 81                                                                                                               | 64            | 84       | 11                                        | 18                   | 35              |
| C4                                                                                                         | 70                                                                                      | 46            | 49       | 61                                                                                                               | 50            | 23       | -9                                        | 4                    | -26             |

Tabla 2: Especificaciones del color del estímulo luminoso a observar, estímulo filtrado y viraje entre ambos.

Las especificaciones de color de la muestra filtrada se han obtenido aplicando a los resultados proporcionados por el filtro en RGB el perfil de color ICC sRGB IEC61966-2.1. En la tabla 3 se hace un resumen de los resultados visuales percibidos, según la opinión consensuado por los autores de este trabajo con criterios de aceptabilidad, después de visualizar los estímulos bajo las condiciones indicadas en la figura 3.

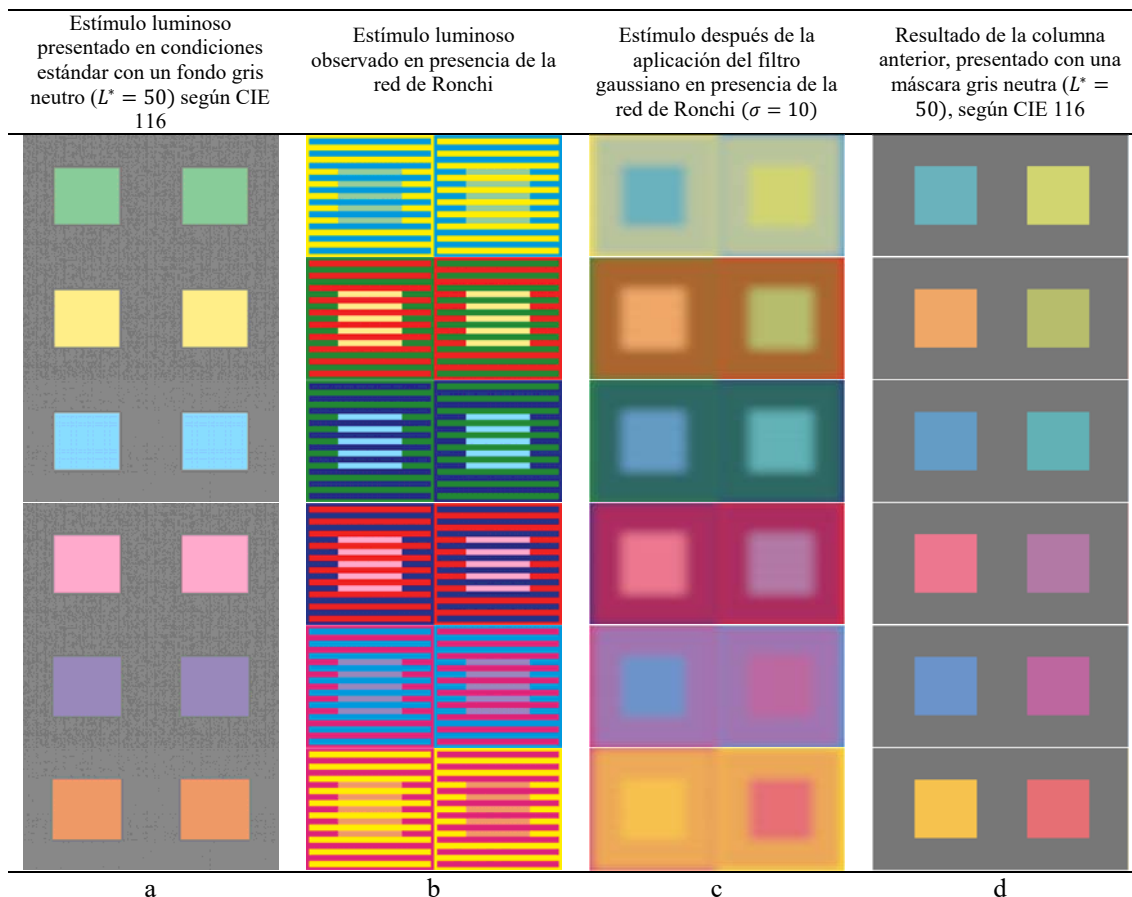


Figura 2: Estímulos luminosos presentados bajo condiciones estándar (a), dispuestos sobre la red de Ronchi correspondiente (b), después de aplicar el filtro gaussiano (c) y filtrados y presentados bajo condiciones estándar (d).

| Ref. | Tono dominante en el estímulo luminoso original percibido bajo condiciones estándar (CIE 116) | Tono dominante de la sensación de color al visualizar el estímulo luminoso bajo la red de Ronchi | Tono dominante de la sensación al visualizar el estímulo filtrado bajo la red de Ronchi | Tono dominante en el estímulo luminoso filtrado bajo condiciones estándar (CIE 116) |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| A1   | Verde                                                                                         | Cian poco saturado                                                                               | Cian poco saturado                                                                      | Cian poco saturado                                                                  |
| A2   | Verde                                                                                         | Amarillo verdoso                                                                                 | Amarillo verdoso                                                                        | Amarillo Verdoso                                                                    |
| B1   | Amarillo                                                                                      | Amarillo rojizo                                                                                  | Anaranjado claro                                                                        | Anaranjado claro                                                                    |
| B2   | Amarillo                                                                                      | Amarillo verdoso                                                                                 | Verde claro                                                                             | Verde claro                                                                         |
| C1   | Cian                                                                                          | Azul claro                                                                                       | Azul claro                                                                              | Azul claro                                                                          |
| C2   | Cian                                                                                          | Verde                                                                                            | Verde                                                                                   | Verde                                                                               |
| A3   | Magenta                                                                                       | Magenta rojizo                                                                                   | Magenta rojizo                                                                          | Magenta rojizo                                                                      |
| A4   | Magenta                                                                                       | Púrpura claro                                                                                    | Púrpura                                                                                 | Púrpura                                                                             |
| B3   | Morado claro                                                                                  | Cian                                                                                             | Cian                                                                                    | Cian                                                                                |
| B4   | Morado claro                                                                                  | Magenta                                                                                          | Magenta                                                                                 | Magenta                                                                             |
| C3   | Naranja                                                                                       | Amarillo rojizo                                                                                  | Amarillo rojizo                                                                         | Amarillo Rojizo                                                                     |
| C4   | Naranja                                                                                       | Magenta                                                                                          | Magenta                                                                                 | Magenta                                                                             |

Tabla 3: Descripción cualitativa de los tonos dominantes de la figura 1.

#### 4. Conclusiones

Los tonos dominantes de la sensación de color al visualizar el estímulo luminoso bajo la red de Ronchi y los filtrados bajo esa misma red coinciden aproximadamente, de manera cualitativa, según los observadores. La capacidad de predicción de la sensación de color del modelo propuesto se hace más patente cuando los estímulos son observados bajo condiciones estándar, tal y como puede observarse comparando las columnas b y d de la figura 2.

El método presentado puede suponer una aportación más para el desarrollo de modelos de apariencia de color en las que las condiciones de observación se desvíen mucho de las condiciones estándar de observación indicadas en CIE 116 [19], especialmente cuando se utilizan fondos o iluminantes no neutros o fuertemente saturados. Los modelos de apariencia del color desarrollados hasta la fecha, como la versión del modelo CIECAM para imágenes iCAM06 [20] producen resultados que se desvían excesivamente con respecto a lo esperado cuando se aplican a redes de Ronchi como las indicadas en este trabajo.

#### Bibliografía

- [1] M. E. Chevreul, *De la loi du contraste simultané des couleurs* (Pitois-Levrault et ce, Paris, 1939)
- [2] W. V. Bezold, S. R. Koehler, E. C. Pickering, *The theory of color in its relation to art and art-industry* (Boston, L. Prang and Co., 1876)
- [3] S. M. Newhall, "The reversal of simultaneous brightness contrast", *Experimental Psychology*, **31**, pp. 393-409 (1942).
- [4] W. D. Wright, *The measurement of colour* (London Hilger, 1969).
- [5] J. Montalvá, I. Tortajada, M. Aguilar, *Influencia de la orientación, color y frecuencia de una red de Ronchi en la asimilación cromática (efecto Bezold) producida en la visión de una secuencia rectangular situada en su interior* (Universitat Politècnica de València, 2011).
- [6] J. Montalvá, I. Tortajada, I. Castilla, M. Martínez, M. Aguilar, "Percepción visual de una secuencia rectangular, vista a través de una red acromática de contraste unidad", *IX Congreso Nacional de Color. Alicante (España). Sociedad Española de Óptica* (2010).
- [7] J. Montalvá, I. Tortajada, I. Castilla, M. Martínez, M. Aguilar, "Influencia de la orientación (vertical-horizontal) de redes acromáticas en la visión de secuencias intercaladas", *Óptica Pura y Aplicada*, **43**, pp. 213-217 (2010).
- [8] M. White, "A new effect of patten on perceived lightness", *Perception*, **8**, pp. 413-416 (1979).
- [9] M. White, "The effect of the nature of the surround on the perceived lightness of grey bars within square-wave test gratings", *Perception*, **10**, pp. 215-230 (1981).
- [10] P. Bressan, "The place of white in a world of grays: A double-anchoring theory of lightness perception", *Psychological Review*, **113**, pp. 526-553 (2006).
- [11] A. Gilchrist, C. Kossyfidis, F. Bonato, T. Agostini, J. Cataliotti, X. Li, "An anchoring theory of lightness perception", *Psychological Review*, **106**, pp. 795-834 (1999).
- [12] W. D. Ross, L. Pessoa, "Lightness from contrast: A selective integration model", *Perception & Psychophysics*, **62**, pp. 1160-1181 (2000).
- [13] Adelson, E. H., *Lightness perception and lightness illusions*. (M. Gazzaniga. The new cognitive neurosciences (2nd ed., pp. 339-351), Cambridge MA: MIT Press, 2000).
- [14] B. L. Anderson, "A theory of illusory lightness and transparency in monocular and binocular images: The role of contour junctions", *Perception*, **26**, pp. 419-453 (1997).
- [15] A. Yazdanbakhsh, E. Arabzadeh, B. Babadi, A. Fazl, "Munker - White-like illusions without T-junctions", *Perception*, **31**, pp. 711-715 (2002).
- [16] B. Blakeslee, M. E. McCourt, "A multiscale spatial filtering account of the White effect, simultaneous brightness contrast and grating induction", *Vision Research*, **39**, pp. 4361-4377 (1999).
- [17] B. Blakeslee, M. E. McCourt, "A unified theory of brightness contrast and assimilation incorporating oriented multiscale spatial filtering and contrast normalization", *Vision Research*, **44**, pp. 2483-2503 (2004).
- [18] M. Milkovic, M. Matijevic, N. Mrvac, "Intensity evaluation of the spreading and simultaneous contrast effects based on the dotted White's samples", *Tehnicki vjesnik* **19**, pp. 521-527 (2012).
- [19] CIE 116, *Industrial Colour-Difference Evaluation* (Commission Internationale de l'Éclairage, 1995)
- [20] J. Kuang, G. M. Johnson, M.D. Fairchild, "iCAM06: A refined appearance model for HDR image rendering", *J. Vis. Commun. Image R.*, **18**, pp. 406-414 (2007).

# Metacognición sobre el uso de Categorías de Color Básicas en dicrómatas “Rojo-Verde” y comparación con su uso empírico

Humberto Moreira Villegas<sup>1,2\*</sup>, Julio Lillo Jover<sup>1</sup>, y Leticia Álvaro Llorente<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Psicología Social, del Trabajo y Diferencial, Facultad de Psicología, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España*

<sup>2</sup>*División de Psicología, C. E. S. Cardenal Cisneros, Madrid, España*

<sup>3</sup>*Departamento de Psicología Experimental, Procesos Cognitivos y Logopedia, Facultad de Psicología, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España*

<http://www.ucm.es>

**Resumen:** En este trabajo se compara la capacidad empírica de los dicrómatas “Rojo-Verde” para discriminar entre Categorías de Color Básicas (CCBs) con la metacognición que estos observadores tienen sobre dicha capacidad. En un primer experimento, 8 protanopes y 9 deuteranopes realizaron una tarea de categorización de colores para identificar todos los ejemplares de cada una de las CCBs. En un segundo experimento, 15 protanopes y 16 deuteranopes estimaron en una tarea verbal su dificultad a la hora de discriminar CCBs. Los resultados obtenidos en los análisis de escalamiento multidimensional (MDS) mostraron una gran coincidencia entre el uso empírico que estos observadores hacen de las CCBs y su metacognición sobre dicho uso, pero también se encontraron algunas diferencias, reveladas al aplicar un análisis INDSCAL (MDS de diferencias individuales). Se concluye que la denominación dicrómatas “Rojo-Verde” no resulta adecuada para describir el uso cotidiano que estos observadores hacen de las CCBs.

## 1. Introducción

Investigaciones previas han estimado que el número de colores distinguibles por los tricrómatas normales, que poseen tres tipos de conos en su retina (L, M y S), está en torno a unos 2 millones [1]. Este número se ve reducido a un número muy limitado de Categorías de Color Básicas (CCBs), denominadas mediante Términos de Color Básicos (TCBs), que, aunque varía entre los diferentes lenguajes, a día de hoy, alcanza un máximo en los países tecnológicamente avanzados de entre 11 [2] y 12 [3].

Los dicrómatas únicamente poseen dos tipos de conos en su retina [4], por lo que solo pueden distinguir en torno al 7% de colores de los que pueden distinguir los tricrómatas normales [5]. Como consecuencia, sufren una presión social para utilizar los TCBs que utilizan los tricrómatas normales, a pesar de que ante las mismas escenas no perciban los mismos colores. En investigaciones previas, hemos estudiado el uso que los dicrómatas “Rojo-Verde” (protanopes y deuteranopes) hacen de los TCBs [6-7]. En este trabajo, comparamos este uso empírico con la metacognición que estos observadores tienen sobre el mismo, entendida como el conocimiento de los procesos cognitivos y/o sus resultados [8].

## 2. Método

### 2.1. Participantes

En la tarea de categorización participaron 17 dicrómatas R-V (8 protanopes, 9 deuteranopes), y en la tarea verbal participaron 31 (15 protanopes, 16 deuteranopes), todos ellos varones. El diagnóstico de la visión del color se realizó a través de la aplicación de tests pseudoisocromáticos (Ishihara, City University Colour Vision Test, Lanthony test) y los ajustes tipo Rayleigh realizados en un anomaloscopio tipo Nagel. Todos los participantes aceptaron el rango completo de mezclas rojo-verde en el anomaloscopio y ninguno cometió errores de tipo tritán.

### 2.2. Estímulos

---

\* e-mail: humbermv@psi.ucm.es

Para la tarea de categorización se empleó un conjunto estimular compuesto por 102 estímulos seleccionados del atlas de color NCS, a partir de los resultados obtenidos en investigaciones previas (la Tabla A1 de [6] muestra la especificación colorimétrica y localización espacial de los estímulos en el conjunto estimular). Los estímulos se seleccionaron para incluir (i) los mejores ejemplares de cada CCB, (ii) “estímulos-fronterizos” entre categorías, y (iii) estímulos a mitad de distancia CIELUV entre los mejores ejemplares y los estímulos-fronterizos (se empleó este espacio por la ventaja que supone poder utilizar el diagrama de cromaticidad correspondiente para representar líneas de confusión [7]). Cada estímulo proyectaba 4° de ángulo visual a una distancia de 50 cm, y el conjunto estimular completo proyectaba un ángulo visual de 64.42° x 33.08°. Los estímulos se presentaron simultáneamente sobre un fondo gris de claridad media (S 5000-N,  $L^* = 50$ ). Para la tarea verbal se presentó una tabla con los 11 TCBs (rojo, verde, azul, amarillo, rosa, naranja, morado, marrón, blanco, gris y negro) escritos en la primera columna y en la primera fila. La primera columna indicaba el nombre empleado por los tricromatas normales, y la primera fila el nombre empleado por el participante. La tabla contenía una matriz de 11x11 celdas vacías (121 en total).

### 2.3. Aparatos

El conjunto estimular utilizado en la tarea de categorización se presentó en una cabina de luz, para controlar las condiciones de observación. La iluminancia fue de unos 225-250 lux, y la temperatura correlacionada del color fue de 5800 K. Todas las mediciones se efectuaron mediante un espectrorradiómetro PR-650 SpectraScan.

### 2.4. Procedimiento

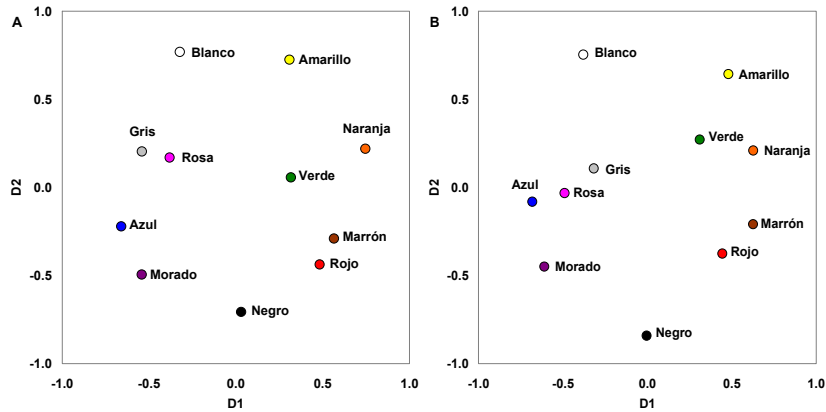
En la tarea de categorización, los 102 estímulos se presentaron simultáneamente. Los observadores tenían que indicar aquellos estímulos que fuesen ejemplares de una determinada CCB. El orden de búsqueda de las 11 CCBs varió aleatoriamente entre los observadores. En la tarea verbal, la matriz se presentó entre el observador y el experimentador. Los observadores tenían que indicar el porcentaje de confusión entre cada par de TCBs (por ejemplo, para el par rojo-verde, la instrucción era: “cuando otros observadores utilizan el término “rojo”, ¿en qué porcentaje de ocasiones empleas tú el término “verde?””), y el experimentador escribía los valores en la casilla correspondiente, hasta rellenar un porcentaje para 110 de las 121 casillas de la matriz (excluyendo la diagonal principal). El orden de presentación de los TCBs varió aleatoriamente entre observadores.

## 3. Resultados

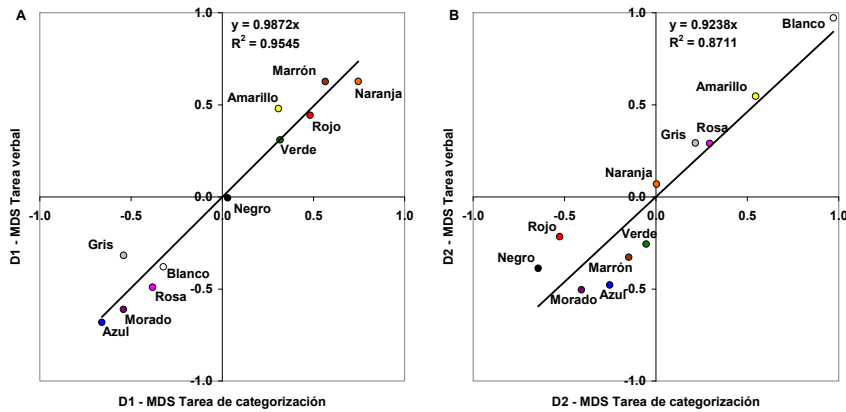
Las matrices de confusión obtenidas en la tarea de categorización y en la tarea verbal se analizaron mediante análisis de escalamiento multidimensional (MDS), para establecer las dimensiones subyacentes que posibilitan la discriminación entre CCBs y TCBs. La Fig. 1 muestra los planos de color o soluciones MDS bidimensionales obtenidas para protanopes en la tarea de categorización (A) y en la tarea verbal (B) (los valores de estrés bruto normalizado mostraron unos ajustes muy buenos, entre 0.0233 en la tarea de categorización y 0.0312 en la tarea verbal para protanopes). Como puede observarse, en ambos casos la primera dimensión, D1, es claramente cromática (con azul y naranja situados en los extremos), y la segunda dimensión, D2, es claramente acromática (con blanco y negro situados en los extremos). La Fig. 2 representa y cuantifica la similitud entre las dimensiones correspondientes obtenidas en ambas tareas, D1, cromática (A), y D2, acromática (B), mostrando los resultados de sendos análisis de regresión lineal. Todos los valores de  $R^2$  estuvieron entre 0.768 y 0.954, y resultaron ser altamente significativos ( $p < 0.001$ ;  $R^2 = 0.954$ ,  $F(1,9) = 188,69$ , para D1 y  $R^2 = 0.934$   $F(1,9) = 126,81$ , para D2 en protanopes;  $R^2 = 0.768$   $F(1,9) = 29,72$ , para D1 y  $R^2 = 0.871$   $F(1,9) = 60,84$  para D2 en deuteranopes).

Para establecer la importancia relativa de las dos dimensiones en ambas tareas, se realizó un INDSCAL (análisis MDS de diferencias individuales). La Fig. 3 muestra los pesos de ambas dimensiones así como los correspondientes vectores (A) para protanopes (círculos) y deuteranopes (cuadrados) en la tarea de categorización (gris oscuro) y en la tarea verbal (blanco). También se muestra el valor medio del ángulo de fase (B) de los vectores obtenidos en el INDSCAL, reflejando un claro efecto de la tarea

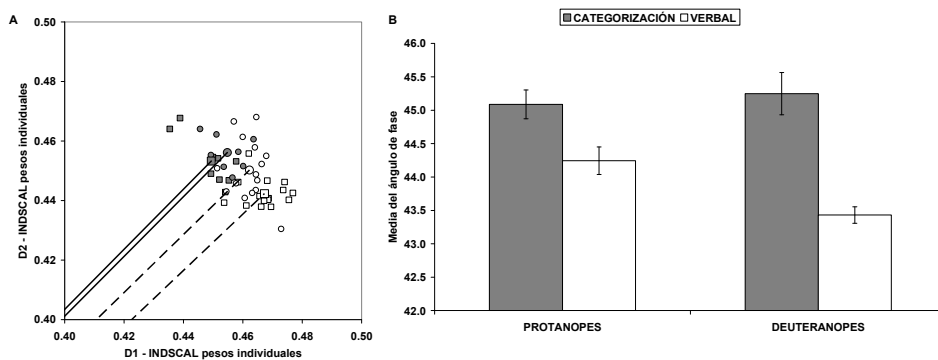
realizada: la dimensión cromática, D1, tiene un peso relativamente mayor (ángulos de fase menores) en la tarea verbal, en comparación con la tarea de categorización ( $F(1,44) = 37.94, p < 0.001, \eta^2 = 0.463$ ).



**Figura 1:** Planos de color obtenidos en los análisis de escalamiento multidimensional (MDS) para protanopes, derivados de la tarea de categorización (A) y de la tarea verbal (B).



**Figura 2:** Comparación de las soluciones obtenidas en los análisis MDS derivados de la tarea de categorización y de la tarea verbal. D1, dimensión cromática en protanopes (A), D2, dimensión acromática en deuteranopes (B). La línea continua representa al ajuste de regresión lineal obtenido mediante el método de mínimos cuadrados (se muestran las ecuaciones y los  $R^2$  correspondientes).



**Figura 3:** A: Pesos individuales obtenidos en el análisis INDSCAL. Se muestran los pesos de D1 (dimensión cromática) y D2 (dimensión acromática) obtenidos para protanopes (círculos) y deuteranopes (cuadrados) en la tarea de categorización (gris oscuro) y en la tarea verbal (blanco). Los ejes han sido truncados por claridad. Las líneas continuas (tarea de categorización) y discontinuas (tarea verbal) representan el vector medio (centroide) de los pesos individuales. B: Media ( $\pm$ SEM) de los ángulos de fase de los vectores de pesos obtenidos en el análisis INDSCAL para protanopes y deuteranopes en la tarea de categorización (barras grises) y en la tarea verbal (barras blancas). El eje y ha sido truncado por claridad.

#### 4. Discusión

Las dimensiones que posibilitan la discriminación entre CCBs y TCBs en dicrómatas “Rojo-Verde” fueron las mismas tanto en la tarea de categorización, que pone de manifiesto el uso empírico de las categorías, como en la tarea verbal, que pone de manifiesto la metacognición que estos observadores tienen sobre dicho uso. La primera dimensión es de naturaleza cromática, y la segunda dimensión es de naturaleza acromática. La metacognición de estos observadores sobre su uso de las CCBs puede describirse como una “caricatura”: se omiten algunas confusiones, como por ejemplo las de las categorías acromáticas blanco y negro, mientras que se exageran las que se producen entre los pares más difíciles de diferenciar, como Marrón-Verde y Azul-Morado. El peso relativo de las dimensiones cromática y acromática cambia en función de la tarea realizada, de manera que el peso de la dimensión cromática es mayor en la tarea verbal (metacognición). Por último, resulta de gran relevancia destacar que, a pesar de la denominación “dicrómatas Rojo-Verde”, este tipo de error apenas aparece, ni en el uso empírico de colores de superficie, ni, paralelamente, en la metacognición de estos observadores, mientras que otros errores, como Marrón-Verde, resultan ser mucho más frecuentes. Por tanto, esta denominación no resulta adecuada ni para describir su uso cotidiano de las CCBs, ni para que se sientan identificados con ella. Puede consultarse una descripción completa de la investigación en la publicación [9].

**Agradecimientos:** Este trabajo ha sido financiado gracias al Proyecto PSI2017-82520 del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (Gobierno de España).

#### Bibliografía

- [1] M. R. Pointer, G. G. Attridge, “The number of discernible colours”, *Color. Res. Appl.*, **23**, p. 52–54 (1998).  
[http://doi: 10.1002/\(SICI\)1520-6378\(199802\)23:1<52::AIDCOL8>3.0.CO;2-2](http://doi:10.1002/(SICI)1520-6378(199802)23:1<52::AIDCOL8>3.0.CO;2-2)
- [2] B. Berlin, P. Kay, *Basic color terms: Their universality and evolution* (University of California Press: Berkeley, CA, 1969).
- [3] G. Paggetti, G. Menegaz, G. V. Paramei, “Color naming in Italian language”, *Color. Res. Appl.* **41**, 402–415 (2016).  
[https://doi: 10.1002/col.21953](https://doi:10.1002/col.21953)
- [4] J. Neitz, M. Neitz, “The genetics of normal and defective color vision”, *Vis. Res.* **51**, p. 633–651 (2011).  
[https://doi: 10.1016/j.visres.2010.12.002](https://doi:10.1016/j.visres.2010.12.002)
- [5] J. M. M. Linhares, P. D. Pinto, S. M. C. Nascimento, “The number of discernible colors perceived by dichromats in natural scenes and the effects of colored lenses”. *Vis. Neurosci.* **25**, p. 493–499 (2008).  
[http://doi: 10.1017/S0952523808080620](http://doi:10.1017/S0952523808080620)
- [6] J. Lillo, H. Moreira, L. Álvaro, I. R. L. Davies, “Use of basic color terms by red-green dichromats: 1. General description”, *Col. Res. App.* **39**, p. 360–371 (2014).  
[http://doi: 10.1002/col.21803](http://doi:10.1002/col.21803)
- [7] H. Moreira, J. Lillo, L. Álvaro, I. R. L. Davies, “Use of basic color terms by red-green dichromats. II. Models” *Color. Res. Appl.* **39**, p. 372–386 (2014).  
[http://doi: 10.1002/col.21802](http://doi:10.1002/col.21802)
- [8] N. Shea, A. Boldt, D. Bang, N. Yeung, C. Heyes, C. D. Frith, “Supra-personal cognitive control and metacognition”, *Trends Cogn. Sci.* **18**, p. 186–193 (2014).  
[http://doi: 10.1016/j.tics.2014.01.006](http://doi:10.1016/j.tics.2014.01.006)
- [9] H. Moreira, J. Lillo, L. Álvaro, ““Red-Green” or “Brown-Green” Dichromats? The Accuracy of Dichromat Basic Color Terms Metacognition Supports Denomination Change”, *Front. Psychol.*, **12**:624792 (2021).  
[https://doi: 10.3389/fpsyg.2021.624792](https://doi:10.3389/fpsyg.2021.624792)

# Estudio de la variación del color por efecto del *scattering* en volumen en materiales translúcidos.

Pablo Santafé-Gabarda\*, Alejandro Ferrero y Joaquín Campos

Instituto de Óptica “Daza de Valdés”, Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas.  
C/ Serrano 144, 28006 Madrid.

<https://www.io.csic.es/>

**Resumen.** Se presentan los resultados obtenidos de la medida de la BRDF (*Bidirectional Reflectance Distribution Function*) espectral de tres muestras translúcidas con distintas áreas de iluminación. Como ya se demostró en un trabajo anterior, se corrobora la dependencia de la BRDF con el área de iluminación y se relaciona esta variación con la longitud de onda para observar la consecuente diferencia en el color medido con las diferentes áreas de iluminación. Este trabajo advierte sobre la necesidad de establecer unas condiciones de medida del color en materiales translúcidos, en los que el color no solo está determinado por la reflectancia espectral de su superficie, sino también por la luz que emerge del volumen del material por efecto del esparcimiento (*scattering*).

## 1. Introducción

La BRDF es la función que describe la distribución de reflectancia angular de una superficie y se define matemáticamente como [1]:

$$f_r(\mathbf{r}_i; \mathbf{r}_r) = \frac{dL(\mathbf{r}_i; \mathbf{r}_r)}{dE(\mathbf{r}_i)} \Big|_{A_i \text{ suficientemente extensa}}, \quad (1)$$

donde  $f_r$  simboliza la BRDF,  $\mathbf{r}_i$  y  $\mathbf{r}_r$  son las direcciones de iluminación y observación, respectivamente,  $dL(\mathbf{r}_i; \mathbf{r}_r)$  es el elemento diferencial de radiancia reflejada por la superficie en la dirección  $\mathbf{r}_r$ ,  $dE(\mathbf{r}_i)$  es el elemento diferencial de la irradiancia sobre la superficie en la dirección  $\mathbf{r}_i$  y  $A_i$  es el área de iluminación sobre la superficie.

El área de iluminación debe ser suficientemente extensa, es decir, mucho más amplia que el recorrido libre medio,  $\ell$ , del material iluminado, ya que si  $A_i$  es del orden de  $\ell$ , la radiancia de la superficie en el centro del área irradiada dependerá de su tamaño (a mayor tamaño, más flujo radiante incidente contribuye al reflejado). Esta dependencia en la definición de la BRDF ya fue demostrada en un trabajo anterior [2] en el que se midió la BRDF de una muestra translúcida con dos áreas de iluminación diferentes.

## 2. Desarrollo experimental

En este trabajo, se ha medido la BRDF de tres muestras translúcidas, que se muestran en la Fig. 1: una blanca casi opaca (Muestra A), una translúcida (Muestra B) y una casi transparente (Muestra C). Para ello, se han iluminado con un ángulo de incidencia de 45° y se ha evaluado la luz reflejada con un ángulo de observación de 0°, es decir, en la dirección perpendicular a la superficie de la muestra, con distintas áreas de iluminación (algunas de ellas del orden del recorrido libre medio) y con seis longitudes de onda de iluminación diferentes, equiespaciadas dentro del espectro visible, para obtener valores espectrales en cada caso.

Las medidas se realizaron con el gonio-espectrofotómetro del Instituto de Óptica del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IO-CSIC), descrito en la literatura [3, 4]. Como sistema de detección, se utilizó una cámara CMOS de alta sensibilidad.

\* e-mail: pablo.santafe@csic.es



Figura 1: Muestras translúcidas proporcionadas por la empresa Covestro Deutschland AG.

### 3. Resultados

En la Fig. 2 se representa el valor de BRDF en función de la longitud de onda de iluminación obtenido con cada área de iluminación en cada muestra. Las barras de error representan la variabilidad aleatoria en la medida de BRDF.

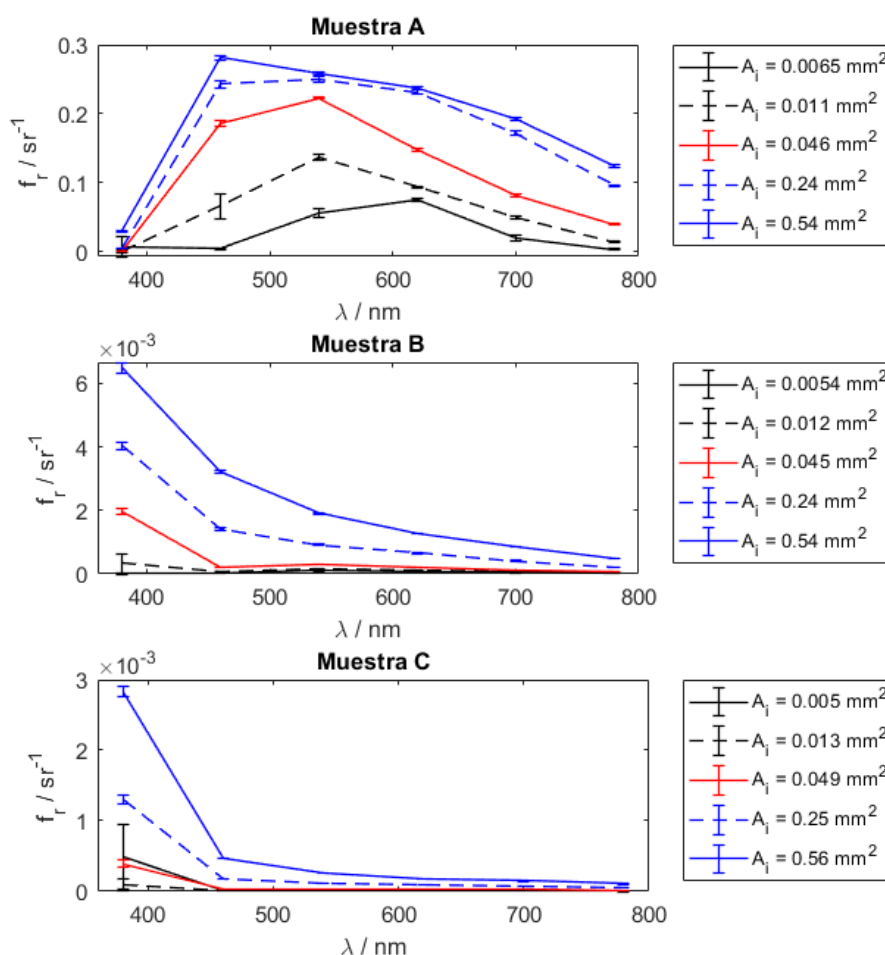


Figura 2: Valor de BRDF obtenido en función de la longitud de onda de iluminación para cada área de iluminación en cada muestra (A, B, C).

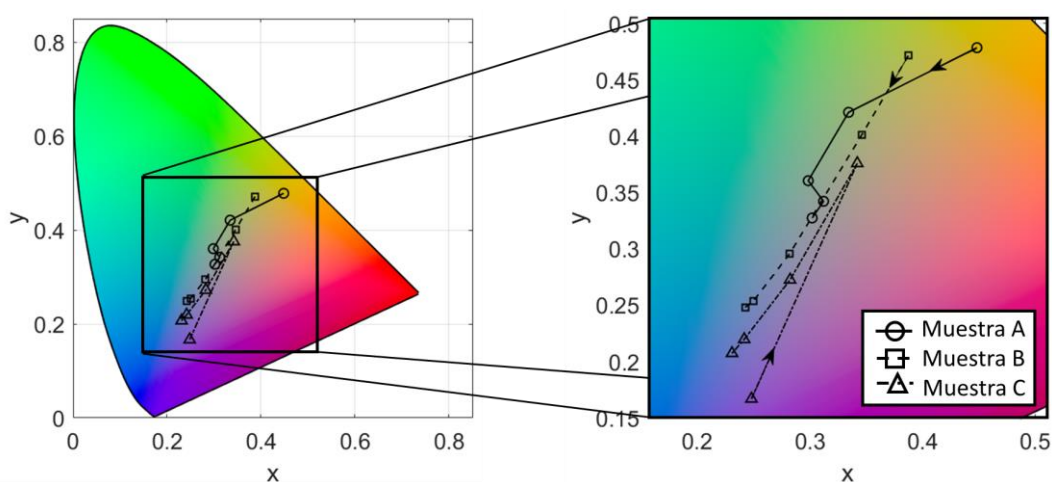
Se observa en la Fig. 2 que, en general, con áreas de iluminación más pequeñas los valores de la BRDF obtenidos son menores que al iluminar las muestras con un área mayor, independientemente de la longitud de onda. Esto es exactamente lo que se espera, ya que, como se ha comentado en la introducción, cuando se utilizan áreas de iluminación mayores, la contribución de la luz reflejada en el volumen del material es

mayor. Por otro lado, se observa que el espectro de BRDF de la muestra blanca casi opaca está centrado entre 500 y 600 nm, mientras que los espectros de BRDF de las muestras translúcida y casi transparente están claramente desplazados hacia longitudes de onda más cortas, lo que corresponde a tonos azulados, por el efecto del esparcimiento (*scattering*).

A partir de los espectros de BRDF se pueden obtener los espectros de reflexión, ya que esta función está directamente relacionada con el factor de reflectancia,  $R$ , como:

$$R = \pi f_r. \quad (2)$$

Para calcular el color de las muestras, los valores de reflectancia medidos se han interpolado con un polinomio de Lagrange de tercer orden, de manera que se obtienen valores cada 5 nm, máxima densidad espectral que no perturba el cálculo del color según la CIE [5]. Las coordenadas se han calculado para el Iluminante estándar D65 y el observador patrón CIE 1931, también conocido como Observador de 2°. Representando estas coordenadas para cada área de iluminación se observa cualitativamente la variación en el color medido de cada muestra (véase Fig. 3).

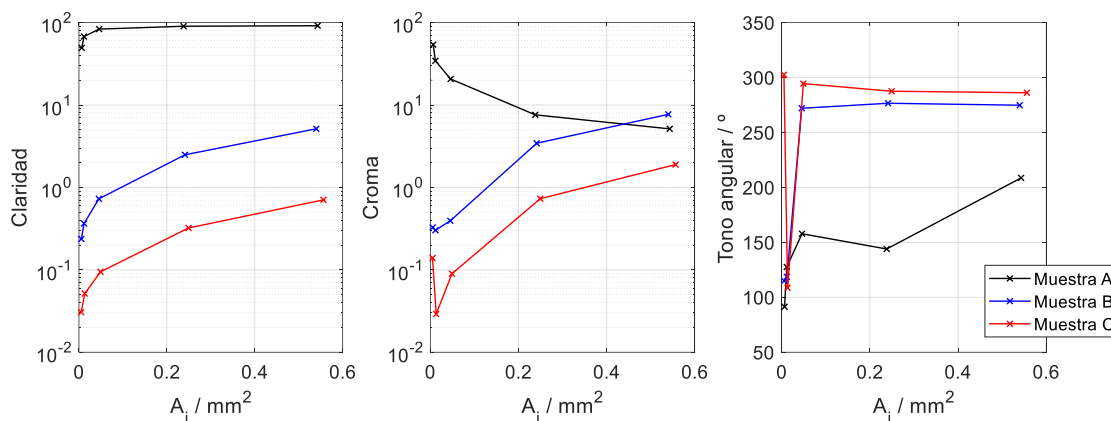


**Figura 3:** Desplazamiento del color, con el iluminante D65 y el observador estándar CIE 1931, de cada muestra con las distintas áreas de iluminación en el espacio de color CIE 1931. Las flechas indican la dirección del cambio de color de menor a mayor área de iluminación.

En la Fig. 3 se observa que el color de la muestra A, la más opaca, penetra menos que las muestras B y C en la región de los tonos azules para las áreas de iluminación mayores.

A partir de los valores de reflectancia interpolados, se han calculado también la claridad, el croma y el tono angular en el espacio CIELAB. En la Fig. 4 se representan los valores obtenidos en función del área de iluminación para cada una de las tres muestras. Para el cálculo de estas magnitudes se han utilizado, nuevamente, los datos del iluminante D65 y las funciones del observador estándar CIE 1931.

En la Fig. 4 se observa, por un lado, que la claridad es mucho mayor en la muestra blanca casi opaca, como se esperaba, y que esta aumenta con el área de iluminación (significativamente, excepto para la muestra casi opaca), al igual que la BRDF. En cuanto al croma, se muestra en la gráfica del centro de la Fig. 4 que, mientras en la muestra más opaca este disminuye con el área de iluminación, en las otras dos muestras el comportamiento es justo el contrario, el croma es mayor al utilizar áreas de iluminación mayores. Por último, en la gráfica del tono angular se ve que mientras que al iluminar con áreas muy pequeñas las muestras presentan tonos más cálidos (tono angular por debajo de 150° [6]), al aumentar el área de iluminación, las muestras B y C viran hacia tonos más fríos (tono angular por encima de 250° [6]) mientras que la muestra A, aunque también presenta un aumento del tono angular, no llega a valores tan altos.



**Figura 4:** Claridad (izquierda), croma (centro) y tono angular (derecha), con el iluminante D65 y el observador estándar CIE 1931, en función del área de iluminación para cada una de las tres muestras.

#### 4. Conclusiones

Se ha estudiado la influencia del área de iluminación en el color de muestras translúcidas a través de la media de su BRDF. Se ha demostrado que esta magnitud varía al utilizar distintas áreas de iluminación en este tipo de materiales, que resulta en una variación del color de la superficie de las muestras. Es por ello por lo que surge una necesidad de establecer procedimientos adecuados de medida del color de materiales translúcidos.

**Agradecimientos:** Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto 18SIB03 BxDiff, financiado por el programa EMPIR, cofinanciado por los Estados que participan en el mismo y por la Unión Europea, y del proyecto PGC2018-096470-B-I00 BISCAT, financiado por la Agencia Estatal de Investigación (MCIU/AEI/FEDER, UE). Se agradece también a la Comunidad de Madrid por el programa de actividades de I+D+I S2018/NMT-4326-SINFOTON2-CM.

#### Bibliografía

- [1] F. E. Nicodemus, J. C. Richmond, J. J. Hsia, I. W. Ginsberg, and T. Limperis, *Geometrical Considerations and Nomenclature for Reflectance* (U.S. Department of Commerce, 1977).
- [2] A. Ferrero, J. R. Frisvad, L. Simonot, P. Santafé, A. Schirmacher, J. Campos, and M. Hebert, "Fundamental scattering quantities for the determination of reflectance and transmittance", *Opt. Express* 29(1), 219–231 (2021).
- [3] A. M. Rabal, A. Ferrero, J. Campos, J. L. Fontecha, A. Pons, A. Rubiño, and A. Corróns, "Automatic goniospectrophotometer for the absolute measurement of the spectral BRDF at in-and out-of-plane and retroreflection geometries", *Metrologia* 49(3), 213–223 (2012).
- [4] B. Bernad, A. Ferrero, A. Pons, M. L. Hernanz, and J. Campos, "Upgrade of goniospectrophotometer GEFE for near-field scattering and fluorescence radiance measurements", in *Measuring, Modeling, and Reproducing Material Appearance 2015*, vol. 9398 M. V. O. Segovia, P. Urban, and F. H. Imai, eds., International Society for Optics and Photonics (SPIE, 2015), pp. 105–115.
- [5] Carter E. C. et al., "COLORIMETRY", 4th Edition, CIE 015:2018 (2018).
- [6] J. Schanda ed., *Colorimetry: Understanding the CIE System*, John Wiley & Sons, 2007.

# Influencia del tono de los pigmentos de absorción en la percepción de sparkle

Esther Perales<sup>1\*</sup>, Alejandro Ferrero<sup>2</sup>, Juan Carlos Fernández-Becares<sup>3</sup>, Marjetka Milosevic<sup>3</sup>, Joaquín Campos<sup>2</sup>, Khalil Huraibat<sup>1</sup>, Jorge Pérez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Óptica, Farmacología y Anatomía. Universidad de Alicante. Carretera de San Vicente del Raspeig s/n. San Vicente del Raspeig (Alicante), 03690*

<sup>2</sup>*Instituto de Óptica, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid,*

<sup>3</sup>*PPG Ibérica. Laguna de Duero, Valladolid,*

<http://web.ua.es/gvc>

**Resumen:** Para poder garantizar un buen control de calidad de los productos es necesario disponer de medidas instrumentales válidas y trazables de todos los atributos visuales que caracterizan la apariencia de un material (color, brillo, textura y translucidez). El objetivo de este trabajo es por tanto evaluar el atributo visual de textura asociado a los pigmentos de efecto especial con el fin de poder establecer una escala de medida. En particular, este estudio evalúa la influencia del tono de los pigmentos de absorción en la percepción del *sparkle*. Para tal fin, se usaron 9 muestras con una variación sistemática de tono alrededor del diagrama cromático. Se diseñó un experimento visual basado en la comparación de tripletes para posteriormente aplicar un algoritmo de escalado multidimensional y obtener así un valor relativo de *sparkle* percibido. Los resultados obtenidos confirman que el tono del pigmento de absorción no influye en la percepción del *sparkle*.

## 1. Introducción

En la sociedad actual, la percepción juega un papel cada vez más relevante en la economía, ya que muchas decisiones de compra se toman a partir de criterios estéticos, por ello es importante la apariencia visual de un producto. En muchos sectores industriales (automoción, cosmética, plástico, etc.), la apariencia visual de un producto debe ser reproducible lo más fidedignamente posible en distintos medios, y se debe establecer una serie de procesos encadenados para garantizarlo, tanto a nivel físico-químico como colorimétrico y visual. Para ello, deben existir controles de calidad basados en medidas instrumentales (objetivas) de todos los atributos visuales que caracterizan la apariencia de un material (color, brillo, textura y translucidez).

En los últimos años se ha hecho un esfuerzo por conseguir efectos visuales más atractivos, y han aparecido en el mercado los pigmentos de efecto especial [1, 2]. Estos pigmentos proporcionan un fuerte cambio de color con respecto a los ángulos de iluminación y observación. Además de esta dependencia angular del color, los materiales con pigmentos de efecto especial presentan texturas complejas denominadas *sparkle* y *graininess*. En concreto, el *sparkle* se define como la presencia de pequeños puntos brillantes sobre un fondo mucho más oscuro bajo una iluminación direccional. Por otro lado, el *graininess* se caracteriza por un patrón irregular claro/oscuro bajo condiciones de iluminación difusa [3, 4].

Durante los últimos diez años, ha habido un gran avance en el desarrollo de nuevos instrumentos comerciales de medida del color, los cuales están siendo usados de manera eficaz por muchas industrias. Sin embargo, a pesar de que la caracterización de superficies con pigmentos de efecto es importante para los sectores de automoción, cosmética o plásticos, sólo existen dos instrumentos para evaluar la textura visual típica asociados a ellos: el espectrofotómetro multi-ángulo *BYK-mac i* de BYK-Gardner y el espectrofotómetro multi-ángulo *MAT12* de la compañía X-Rite. Ambos equipos, procesan digitalmente las imágenes capturadas por la cámara integrada en cada uno de ellos y proporcionan diferentes parámetros asociados a ambas texturas visuales, aunque no son coincidentes. Esta falta de concordancia

se debe a que no existe ninguna normativa a nivel internacional que defina una escala de medida de estas texturas. Por esta razón, desde la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) se está trabajando en la definición de escalas de medida para estos dos atributos de textura. En los últimos años se ha trabajado en la propuesta de una escala de medida correlacionada con la percepción visual [5-7]. Sin embargo, esta escala preliminar fue obtenida a partir del estudio de muestras acromáticas, y no se tiene en cuenta el papel que desempeña el tono de los pigmentos de absorción. Por tanto, el objetivo de este trabajo es analizar la influencia del tono de los pigmentos de absorción en la percepción del *sparkle*.

## 2. Materiales y Metodología

El conjunto de muestras fue proporcionado por la empresa PPG Ibérica. Se compone de nueve muestras, donde cada una contiene un pigmento de absorción diferente para conseguir un tono angular ( $h^*$ ) distribuido alrededor de todo el diagrama cromático. Los parámetros estructurales del pigmento metálico fueron los mismos para todas las muestras. En particular, se utilizó un pigmento metálico tipo *conrflake* con un tamaño de partícula  $D_{50} = 21\mu\text{m}$ . Además, la relación entre el pigmento de absorción y el pigmento metálico fue constante (1:9) para poder analizar exclusivamente el efecto del tono en la percepción del *sparkle*. Se obtuvo una diferencia relativa de *sparkle* inferior al 5% (utilizando el índice SG del espectrofotómetro multiángulo *BYK-mac i*), y una diferencia relativa de claridad ( $L^* = 60.4 \pm 4.1$ ) inferior al 7% con el mismo instrumento (Tabla 1).



Figura 1: Conjunto de muestras utilizadas

|   | $L^*$ (45°) | $a^*$ (45°) | $b^*$ (45°) | $C^*$ (45°) | $h^\circ$ (45°) | $S_i$ (45°) | $S_a$ (45°) | SG (45°) | G (45°) |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|-------------|-------------|----------|---------|
| 1 | 54.51       | 17.33       | 7.80        | 19.00       | 24.24           | 7.54        | 28.47       | 4.33     | 6.99    |
| 2 | 66.60       | -12.23      | 2.76        | 12.54       | 167.28          | 7.93        | 28.00       | 4.42     | 6.94    |
| 3 | 61.55       | -4.55       | -12.31      | 13.12       | 249.72          | 6.66        | 29.08       | 4.07     | 7.15    |
| 4 | 59.84       | 15.43       | -10.16      | 18.47       | 326.64          | 7.34        | 27.71       | 4.19     | 6.99    |
| 5 | 64.50       | 2.32        | 14.55       | 14.73       | 80.94           | 7.05        | 27.87       | 4.10     | 6.88    |
| 6 | 63.07       | 8.53        | -0.44       | 8.54        | 357.04          | 6.61        | 26.57       | 3.84     | 6.81    |
| 7 | 61.40       | 9.84        | 21.24       | 23.41       | 65.14           | 7.14        | 27.49       | 4.10     | 6.88    |
| 8 | 56.37       | -16.13      | -16.59      | 23.13       | 225.81          | 6.34        | 28.42       | 3.90     | 6.67    |
| 9 | 56.09       | 11.70       | -5.91       | 13.11       | 333.19          | 6.49        | 28.25       | 3.94     | 7.07    |

Tabla 1: Datos colorimétricos y de textura en la geometría 45°as45° de las 9 muestras utilizadas en el experimento visual. ( $S_i$ : sparkle intensidad;  $S_a$ : sparkle área; SG: sparkle general; G: graininess)

Se diseñó un experimento visual para obtener un valor relativo de *sparkle* percibido (*sparkle* visual). Para llevar a cabo este experimento visual, las medidas experimentales se realizaron mediante un método psicofísico de comparación de tripletes. Es un método de comparación forzosa, es decir, el observador se ve obligado a elegir una de las muestras que se le presentan. En este caso concreto, las nueve muestras se combinan de tres en tres formando 84 tripletes. La tarea del observador consiste en indicar qué muestra de los extremos (izquierda o derecha) se parece más a la muestra central basándose en el *sparkle* y no en

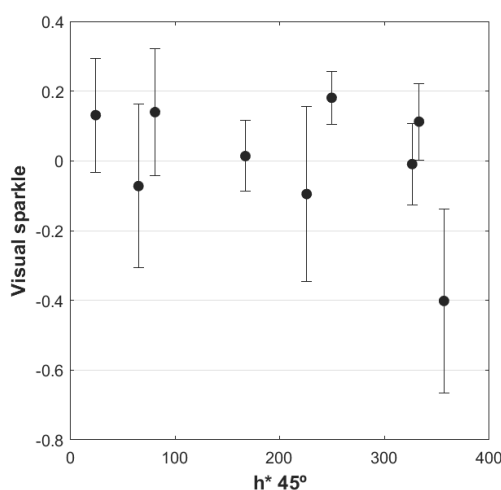
el color de las mismas. El observador en cada sesión de aproximadamente 40 minutos de duración evaluó los 84 tripletes y realizó tres repeticiones en sesiones diferentes. Para la realización del experimento visual, se utilizó la cabina de iluminación *byko-spectra-effect* para controlar las condiciones de observación. El nivel de iluminación en las muestras fue de 2400 lux y la geometría de medida fue 45°:as45°. El experimento se condujo en una sala a oscuras, y el observador debía adaptarse previamente a la oscuridad durante tres minutos. Todos los observadores participantes tenían una buena agudeza visual con su compensación óptica y una visión del color normal evaluada con el test de Ishihara. En el experimento participaron 10 observadores (7 mujeres y 3 hombres) con una edad media de  $(41 \pm 14)$  años.

Una vez recogidas las respuestas de los observadores, estas fueron procesadas mediante el escalado multidimensional. Este algoritmo proporciona un determinado número de dimensiones que caracterizan el atributo estudiado. Una vez obtenidas las dimensiones, se procede a su análisis con el objetivo de analizar la influencia del tono del pigmento de absorción en la percepción del *sparkle*.

### 3. Resultados

En primer lugar, se analizó la variabilidad asociada a los observadores del experimento visual. El análisis se centró en la intra-variabilidad (mismo observador, repeticiones diferentes) y la inter-variabilidad (respuestas de observadores diferentes). La variabilidad asociada a la respuesta individual de los observadores fue del 34%, y la variabilidad entre observadores fue del 28%. Estos valores de variabilidad son elevados comparados con otros experimentos visuales realizados con el mismo procedimiento y mismo objetivo. Este resultado es indicativo de la dificultad que tienen los observadores en percibir las muestras diferentes en cuanto al *sparkle* como refleja la aleatoriedad de sus respuestas. Además, cabe destacar que en este experimento la intra-variabilidad es mayor que la inter-variabilidad, lo que no suele ser habitual, hecho que también pone de manifiesto la indecisión de los observadores en su respuesta.

Tras aplicar el escalado multidimensional a la respuesta de los observadores para construir un espacio donde la distancia euclídea entre muestras corresponda a la diferencia de *sparkle* percibida, se obtiene una única dimensión estadísticamente significativa considerada en este caso como *sparkle* visual. En la Figura 2 se muestra el *sparkle* visual obtenido para cada una de las muestras en función del tono  $h^*$  medido para la geometría de medida 45°:as45°.



**Figura 2:** *Sparkle* visual asociado a cada muestra en función del tono del pigmento de absorción. ( $h^*$  (0-360°) corresponde al ángulo-tono de la geometría de medida 45°:as45°)

Como puede observarse en la Figura 2, el *sparkle* percibido por los observadores es independiente del tono del pigmento de absorción. En la figura puede observarse la gran variabilidad existente representada con las barras de error que se solapan, por tanto, no se puede decir que el tono del pigmento de absorción influya en la percepción del *sparkle*. No obstante, existe una muestra ( $h^* = 357$ ) que destaca por un valor medio de *sparkle* más bajo comparado con el resto de las muestras. El valor de *sparkle* instrumental obtenido con el instrumento *BYK-*

*mac i*, también es inferior en concordancia con los resultados visuales. A pesar de que se ha pretendido conseguir muestras con unas determinadas características colorimétricas, en este caso con una variación de tono principalmente, para esta muestra en particular el croma es relativamente bajo,  $C_{ab}^* = 8.54$  ( $\bar{C}_{ab}^* = 16.17 \pm 5.13$ ). El hecho de tener un croma más bajo puede generar menos contraste entre punto luminoso (*sparkle*) y fondo y por tanto reducir la visibilidad del *sparkle*. Sin embargo, cabe destacar que este comportamiento no es idéntico para todos los observadores, y no es posible observar diferencias entre el *sparkle* percibido para cada una de las muestras.

#### 4. Conclusiones

En este trabajo se ha evaluado la influencia del tono de los pigmentos de absorción en la percepción del *sparkle*. Para ello, se ha diseñado un experimento visual basado en la comparación de tripletes para su posterior tratamiento con un algoritmo de escalado multidimensional. Tras los resultados, se obtiene que el *sparkle* percibido es independiente del tono del pigmento de absorción (fondo). No obstante, es necesario realizar más experimentos visuales con nuevas muestras. Por un lado, el siguiente paso sería evaluar el efecto del propio tono del pigmento en la percepción del *sparkle*, por otro lado, confirmar los resultados obtenidos hasta ahora con otros pigmentos de efecto y/o combinación de ellos) para poder evaluar de manera global el *sparkle* y poder proponer una escala de medida que se ajuste a la percepción visual del *sparkle* en todos sus aspectos.

**Agradecimientos:** Al Ministerio de Economía y Competitividad por el proyecto RTI2018-096000-B-I00. Además, los autores agradecen la participación de todos los observadores en el experimento visual.

#### Bibliografía

- [1] T. Brock, M. Groteklaes, P. Mischke, *European Coatings Handbook* (Vincentz Network, Hannover 2010)
- [2] H.J. Streitberger, K.F. Dössel, *Automotive Paints and Coatings*, 2nd ed. (Wiley-VCH, Weinheim, 2008)
- [3] N. Dekker, E. J. J. Kirchner, R. Supèr, G.J. van de Kieboom, R. Gottenbos, "Total appearance differences for metallic and pearlescent materials: contributions from color and texture", *Color Res Appl*, **36**, 1, p. 4 (2010)
- [4] Z. Huang, H. Xu, M.R. Luo, G. Cui, H. Feng, "Assessing total differences for effective samples having variations in color, coarseness, and glint". *Chinese Opt. Lett.*, **8**, 7, p. 717 (2010)
- [5] A. Ferrero, J. L. Velázquez, E. Perales, J. Campos, F. M. Martínez Verdú, "Definition of a Measurement Scale of Graininess from Reflectance and Visual Measurements", *Opt. Express*, **26** (23), p. 30116 (2018).
- [6] A. Ferrero, N. Basic, J. Campos, M. Pastuschek, E. Perales, G. Porrovecchio, M. Šmid, A. Schirmacher, J.L. Velázquez, F.M. Martínez-Verdú, "An insight into the present capabilities of national metrology institutes for measuring sparkle", *Metrologia* **57** 065029 (2020).
- [7] A. Ferrero, E. Perales, N. Basic, M. Pastuschek, G. Porrovecchio, A. Schirmacher, J. L. Velázquez, J. Campos, F. M. Martínez-Verdú, M. Šmid, P. Linduska, T. Dauser, and P. Blattner, "Preliminary measurement scales for sparkle and graininess," *Opt. Express* **29**, p. 7589-7600 (2021).

# Análisis de la visión del color de fumadores y fumadores consumidores moderados de alcohol

Teresa López [et al.], Universidad de Alicante, San Vicente del Raspeig, Alicante  
Teresa López [et al.], Universidad de Valencia, Burjasot, Valencia  
Cátedra Alcon-FISABIO-UVEG, Valencia

Universidad de Alicante. San Vicente del Raspeig, Alicante

Universidad de Valencia. Burjasot, Valencia

Cátedra Alcon-FISABIO-UVEG, Valencia

[teresa.lopez@uv.es](mailto:teresa.lopez@uv.es)

**Resumen:** Existen indicios de que fumar y consumir alcohol puede afectar a la discriminación cromática, es por ello que en este estudio nos planteamos evaluar la visión del color con el test Farnsworth Munsell de 100 tonos (FM100h). Se incluyeron 64 observadores repartidos en tres grupos: sin consumo, con consumo de tabaco y con consumo de tabaco y moderado de alcohol. Se calcularon la puntuación TES y puntuaciones parciales para los mecanismos rojo-verde y azul-amarillo (PTESRG y PTESBY). Con estos datos se realizaron test de contraste de hipótesis, correlaciones, cálculo de componentes principales y curvas ROC. Los resultados mostraron que los observadores que fuman o fuman y beben tienen mayores valores de TES y de PTES comparado con los pacientes que no consumen, siendo el valor de TES o el cálculo de una componente principal los parámetros que mejor diagnostican los cambios de percepción de color entre consumidores y no consumidores.

## 1. Introducción

El consumo habitual de drogas legales tales como el alcohol y el tabaco producen cambios en la percepción visual de quienes los consumen, uno de esos cambios afecta a la percepción de los colores [1,2]. Además, algunos estudios y casos publicados muestran que personas que consumen alcohol y tabaco tienen un mayor riesgo de padecer neuritis óptica. El defecto visual principal de esta neuritis es un escotoma central que, cuando se detecta, el daño puede ser irreversible [3,4], es por ello, que es importante encontrar otras pruebas que ayuden al diagnóstico precoz de estos casos. En neuritis ópticas producidas por otras causas, se ha visto que éstas cursan con un empeoramiento en la discriminación cromática. [5] Además, los estudios que se realizan suelen ser por intoxicaciones puntuales de alcohol o por consumo elevado del mismo, no se encuentran muchos estudios de consumidores moderados (1 o 2 copas de vino al día, por ejemplo).

## 2. Objetivo

Nos planteamos, por tanto, evaluar si existen cambios en la visión del color y si se ven aumentados en personas que consumen tabaco o tabaco y alcohol de manera habitual frente a personas que no consumen.

## 3. Metodología

Las personas incluidas en el estudio debían ser observadores sanos y sin signos patológicos en fondo de ojo. Se clasificó a los observadores en tres grupos: grupo 1, aquellos que ni fumaban ni tomaban alcohol; grupo 2, aquellos que fumaran 5 o más cigarrillos al día durante al menos 5 años, pero no consumieran alcohol habitualmente y grupo 3, aquellos que fumaran 5 cigarrillos o más durante al menos 5 años y que además consumieran alcohol de manera moderada durante al menos 5 años.

\* e-mail: [teresa.lopez@uv.es](mailto:teresa.lopez@uv.es)

Se realizó una exploración oftalmológica, la refracción subjetiva y, por último, el test Farnsworth Munsell de 100 tonos iluminado con iluminante D65 en cabina MacBeth; se incluyó solo el ojo derecho. Para el análisis estadístico se utilizó el programa SPSS v.26

#### 4. Resultados

Finalmente tuvimos una muestra de 64 sujetos (ver tabla 1) de los cuales 35 no consumían nada, 19 consumían tabaco y 10 consumían tabaco y alcohol. Se calculó para cada sujeto el error total TES como la suma de los errores parciales de cada ficha. Las puntuaciones PTESRG y PTESBY como suma de los errores para las fichas [13–33,55–75] y [1–12, 34–54, 76–85] respectivamente. [6]

Además, se calculó el porcentaje de pacientes que difería de la norma según la clasificación por edades del valor TES [7], siendo que en el grupo sin consumo todos estaban dentro de la norma mientras que en el grupo de personas consumidoras de tabaco un 45% estaba fuera de la norma y un 50% en el caso de consumo de tabaco y alcohol. No tuvimos observadores dicrómatas por lo que no hubo exclusión de sujetos por este criterio.

|                         | Sin consumo | Tabaco | Tabaco y alcohol |
|-------------------------|-------------|--------|------------------|
| N                       | 35          | 19     | 10               |
| Hombres/Mujeres         | 12/23       | 5/14   | 8/10             |
| Edad en años (media±ds) | 44±10       | 42±11  | 48±16            |
| Cigarros (media±ds)     | nan         | 15±11  | 21±11            |
| años consumo (media±ds) | nan         | 17±5   | 19±6             |
| TES                     | 60±29       | 100±57 | 112±64           |
| PTES-RG                 | 23±15       | 44±30  | 40±32            |
| PTES-BY                 | 38±18       | 56±30  | 72±41            |
| %TES fuera de norma     | 0%          | 45%    | 50%              |

**Tabla 1:** Datos de los observadores para cada grupo. N: tamaño muestral, TES: Puntuación total del FM100h, PTES: puntuaciones parciales del FM100h tanto para el mecanismo RG (rojo-verde) como para el mecanismo BY (azul-amarillo)

Al ser grupos de tamaño muestral pequeño, hemos aplicado estadística no paramétrica. La prueba de contraste de hipótesis (Kruskal-Wallis con la corrección de Bonferroni) muestra que la edad no es significativamente diferente entre grupos, tampoco la cantidad de cigarros y el tiempo de consumo entre los grupos 2 y 3. El valor de TES varía de manera significativa entre los grupos 1-2 y 1-3 ( $p=0,011$  y  $p=0,010$ ), PTESRG es diferente entre grupo 1 y 2 ( $p=0,008$ ), PTESBY difiere estadísticamente entre los grupos 1-3 ( $p=0,10$ ).

Analizando las correlaciones bivariadas con el test de la Rho de Spearman vimos correlaciones significativas y positivas entre las variables que se muestran en la tabla 2:

| variable | edad    | cigarros | Tiempo fumando | alcohol |
|----------|---------|----------|----------------|---------|
| TES      | 0,272*  | 0,491**  | 0,477**        | 0,284*  |
| PTESRG   |         | 0,435**  | 0,435**        |         |
| PTESBY   | 0,333** | 0,463**  | 0,441**        | 0,358** |

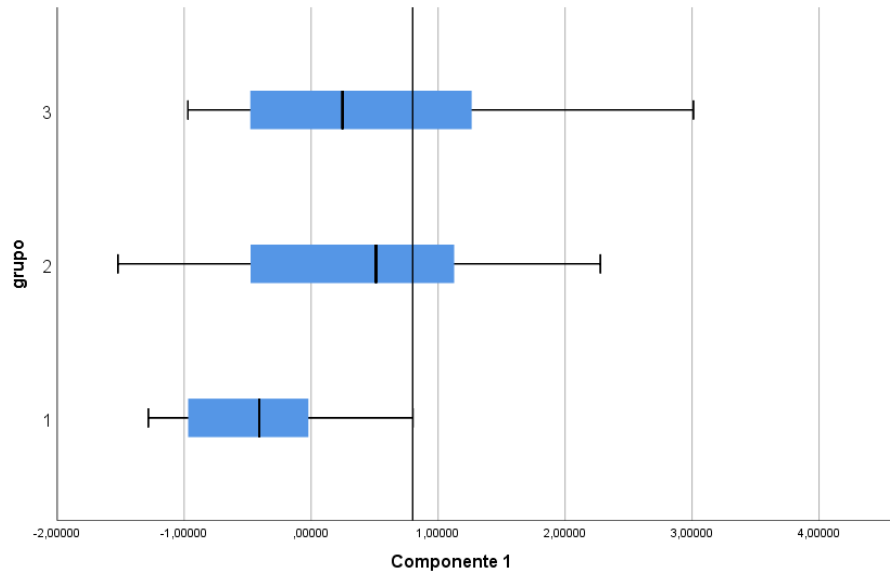
**Tabla 2.** Datos de las correlaciones estadísticamente significativas entre las variables perceptuales y las variables descriptivas.

A la vista de estos resultados analizamos el peso de cada variable mediante un modelo de regresión lineal múltiple. Los resultados mostraron que la variable que significativamente mayor peso tiene en TES y PTES es la cantidad de cigarros consumidos al día, para PTESBY es, además, la edad. Aunque con estos modelos sólo se pueden justificar el 22,6%, el 17,6% y el 23,5% de las variables.

Nos planteamos, además, realizar un estudio de las componentes principales de la muestra resultando que con una única componente explicamos el 88,3% de la varianza, siendo la nueva componente:

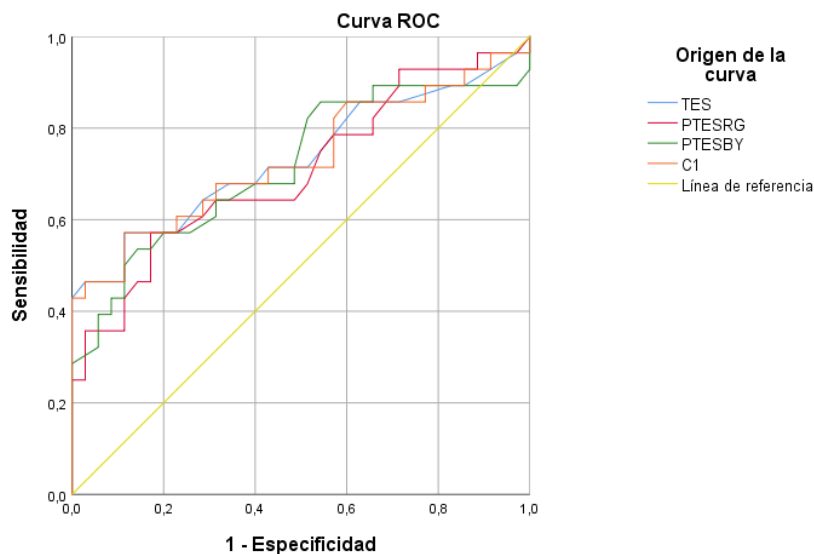
$$C1 = 0,83 TES + 0,37 PTESRG + 0,45 PTESBY \text{ ec.1}$$

Teniendo en cuenta esta componente no se puede distinguir entre grupo 2 y 3 pero sí entre el grupo 1 y el grupo 2+3, ya que, a partir del valor 0.8 no tenemos ningún sujeto normal pero sí 11 patológicos de los cuales 8 era fumadores y 3 fumadores con consumo de alcohol (ver figura1).



**Figura 1:** Valor de la componente 1 calculada para cada paciente con la ecuación 1 y separado por grupos, la línea negra vertical marca el valor de corte entre no consumidores y consumidores.

Por último, comprobamos con el análisis mediante curvas ROC cuál de las puntuaciones, TES, las PTES o C1 conseguí podía ofrecer un mejor diagnóstico. Resultó que tanto TES como C1 son prácticamente igual de sensibles a la misma especificidad en el diagnóstico diferenciador entre no consumidores y consumidores (ver figura 2). El área bajo la curva fue para TES: 0,733; PTESRG 0,706; PTESBY: 0,718 y C1: 0,733.



**Figura 2.** Datos de las curvas ROC calculadas para diferenciar no consumidores de consumidores mediante los parámetros perceptuales.

#### 4. Conclusiones

En general, vemos que los pacientes que fuman o fuman y beben tiene mayores valores de TES y de PTES comparado con los pacientes que no consumen nada, siendo el valor de TES el que mejor diagnóstico nos da en estos casos. En cuanto a qué factores tienen mayor peso, se ha visto que la cantidad de cigarrillos que se fuman al día es un factor importante no siendo significativo el hecho de tomar o no alcohol, aunque sí está correlacionado con la cantidad de errores totales y errores del mecanismo azul-amarillo cometidos. El sexo no influye en los resultados obtenidos. Debido a la pequeña muestra, las tendencias de empeoramiento en aquellos que, además de fumar, beben moderadamente, no siempre son significativas, por lo que se debe seguir investigando con un mayor número de pacientes para corroborar como consumir tabaco y alcohol de manera moderada influye en la percepción de los colores. Además, se debería incluir unos cuatro grupos con personas que solo consumen alcohol ya que, en nuestra muestra, no encontramos sujetos que incluir en este grupo.

#### Bibliografía

- [1] J.F. de Carvalho, D. Danda, H. Dantas, T.A. Arraes, E. Cavalcanti, “Perimetria azul-amarelo em usuários de tabaco-álcool [Blue-on-yellow perimetry in tobacco and alcohol consumers]”, *Arq Bras Oftalmol*, **69**, p.675-8 (2006).
- [2] M.A Díez-Ajenjo, M. García-Carabal, M.J. Luque-Cobija, M.C. García-Domene, “Blue-yellow deficiencies in young moderate smokers”, *Journal of Optometry*, **14**, p.199-205 (2020)
- [3] F.S. Constantin, M.I. Ion, A.E. Constantin, “Tobacco-Alcohol Toxic Optic Neuropath”, *Romanian journal of ophthalmology*, **63**, p.403-405 (2019)
- [4] K. Nowomiejska, A. Kiszka, R. Maciejewski, A. Jünemann, R. Rejdak, “Central scotoma in tobacco-alcohol toxic optic neuropathy measured with semi-automated kinetic perimetry”, *Cutan Ocul Toxicol*, **37**, p. 319-323 (2018)
- [5] N. Levin, M. Devereux, A. Bick, N. Baker, A. Green, “Color perception impairment following optic neuritis and its association with retinal atrophy”, *J Neurol*, **266**, p. 1160-1166 (2019)
- [6] V.C. Smith, J. Pokorny, A.S. Pass, “Color-axis determination on the Farnsworth-Munsell 100-Hue Test”, *Am J Ophthalmol*, **100**, p. 176–82 (1985)
- [7] P.R. Kinnear, A. Sahraie. “New Farnsworth-Munsell 100 hue test norms of normal observers for each year of age 5-22 and for age decades 30-70.” *The British journal of ophthalmology*, **86**, p. 1408-11 (2002)

# Prestaciones y limitaciones de Matlab para ilustrar fenómenos psicofísicos en laboratorios docentes: medida de umbrales cromáticos

Dolores de Fez<sup>1\*</sup>, M<sup>a</sup> Josefa Luque<sup>2,3</sup>, M<sup>a</sup> Carmen García-Domene<sup>2</sup>, M<sup>a</sup> Amparo Díez-Ajenjo<sup>2</sup>, Valentín Viqueira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Universidad de Alicante. San Vicente del Raspeig, Alicante*

<sup>2</sup>*Universidad de Valencia. Burjassot, Valencia*

<sup>3</sup>*Cátedra Alcon-FISABIO-UVEG, Valencia*

<https://web.ua.es/es/gopv/grupo-de-optica-y-percepcion-visual.html>

**Resumen:** Es posible desarrollar software en Matlab para realizar experimentos psicofísicos complejos. A pesar de factores de distorsión, ligados a errores de reproducción y a la reducida resolución de color de las tarjetas gráficas de 8 bits, tras varios años de uso en los laboratorios de psicofísica, hemos visto que el sistema permite reproducir los resultados más sobresalientes de ciertos experimentos psicofísicos clave, como la medida de las elipses de discriminación.

## 1. Introducción

El diseño de un test visual en formato digital requiere generalmente de conocimientos informáticos que no siempre están al alcance de un especialista de la visión. Es por esto que, hace años, nos planteamos la posibilidad de facilitar un software que permita a este tipo de usuarios diseñar tests y/o prácticas para laboratorios docentes, a partir únicamente de sus conocimientos sobre las propiedades de los mecanismos de las diferentes etapas de la vía visual. Esta idea se plasmó en la puesta en marcha de un MOOC durante el curso 17-18, que permite al usuario descargarse el software correspondiente a 21 prácticas de laboratorio propuestas por los autores [1]. Cada una de las aplicaciones va acompañada de un guion de prácticas como sugerencia de uso, pero el usuario puede utilizar dichas aplicaciones con la finalidad que considere más adecuada para desarrollar sus objetivos. Tanto el MOOC como algunas de las aplicaciones diseñadas se han presentado como contribuciones en diferentes congresos [2-6], con el fin de difundir su uso entre el profesorado de asignaturas relacionadas con la visión.

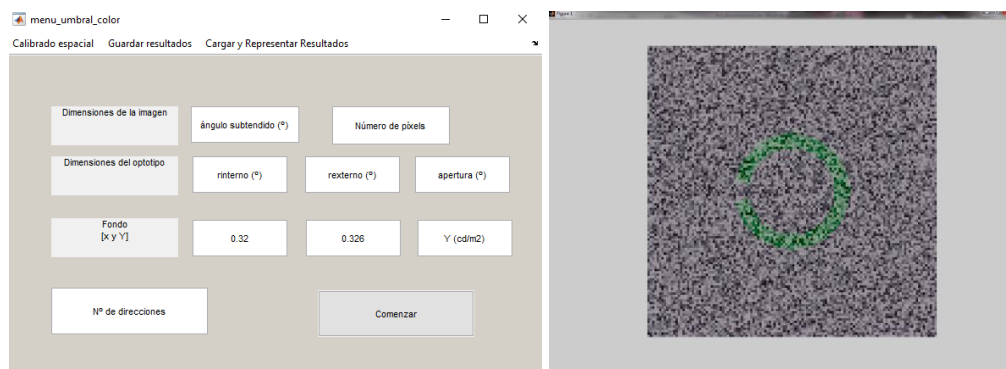
Al utilizar estas aplicaciones en docencia, debemos tener en cuenta tres factores de distorsión importantes: 1) los errores de reproducción del color, que pueden controlarse en laboratorios docentes, si se caracteriza colorimétricamente el dispositivo, pero no cuando el estudiante lo usa en su casa; 2) la precisión con la que se puede reproducir un cierto efecto, y 3) las limitaciones introducidas por el método psicofísico utilizado que, por razones didácticas, en buena parte del software al que nos hemos referido, debe implementar manualmente el propio usuario. En esta contribución presentamos parte de los resultados experimentales obtenidos para la aplicación *muc* (medida de umbrales cromáticos) durante los cursos académicos 19-20 y 20-21, y para los que analizamos si, a pesar de los factores de distorsión ligados a los errores de reproducción y a la precisión del dispositivo, se pueden obtener resultados que ilustren contenidos tratados en las clases de teoría.

## 2. Aplicación Medida de Umbrales Cromáticos (*muc*)

Esta aplicación permite medir elipses de discriminación cromática análogas a las medidas por MacAdam [7]. Presentaremos al sujeto una C de Landolt, de cierto color test que podemos llamar  $C_T$ , que el observador fijará fovealmente, sobre un fondo de color que llamaremos  $C_F$ . Mediremos el umbral de

<sup>1</sup> \* e-mail: dolores.feز@ua.es

discriminación respecto al estímulo  $C_F$ , cambiando el color de  $C_T$  mediante una tarea de reconocimiento de forma. Por defecto, el color del fondo respecto al que se va a evaluar la discriminación cromática del sujeto es el acromático del monitor, pero puede cambiarse. Los parámetros de la C de Landolt deben definirse al inicio (ver Fig. 1 izquierda): los radios interno y externo y el tamaño de la imagen son ángulos (en grados), medidos desde el ojo del observador. La apertura (en grados) está medida desde el centro de la imagen. Para evitar que el borde del optotipo pueda detectarse por diferencias de luminancia, y no por diferencias de color como queremos, el software formará la imagen completa a partir de cuadraditos ( $n^\circ$  de píxeles) con diferencias de luminancia pequeñas y aleatorias entre ellos (ver Fig. 1 derecha). En la selección del número de direcciones en las que explorar se recomienda un número no demasiado grande (8 o 9) para que la medida no se alargue con la consiguiente fatiga del observador pero que no se pierda precisión en el ajuste de la elipse de discriminación.



**Figura 1:** Izquierda- Interfaz de la aplicación *mic*. Derecha- Anillo de Landolt para la medida de umbrales cromáticos, el observador debe localizar la posición de la apertura.

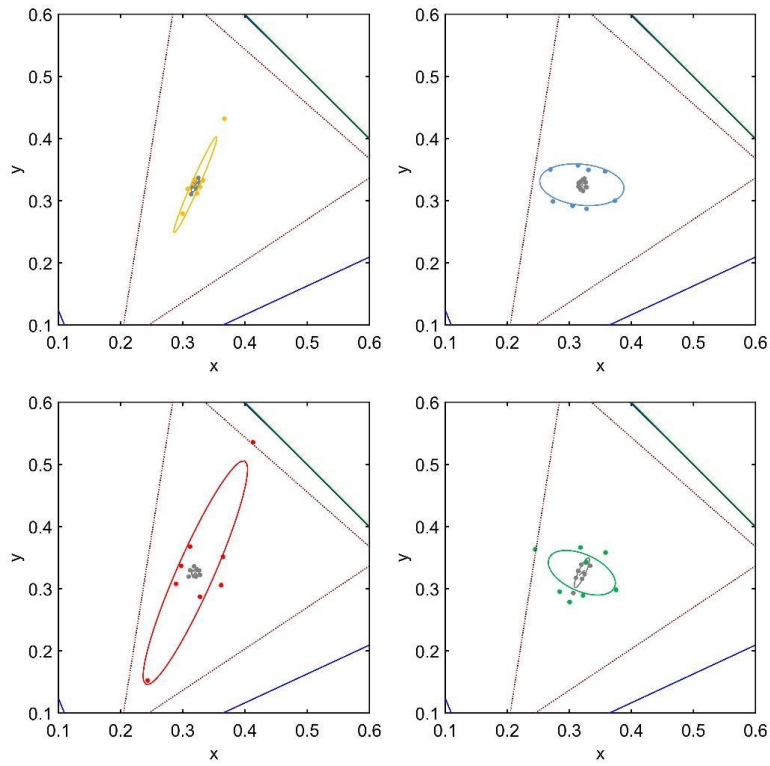
Puesto que queremos determinar el umbral que permita realizar una tarea de reconocimiento, el sujeto deberá identificar correctamente algún rasgo relevante del optotipo, que en nuestro caso será la posición de la apertura (ver Fig. 1 derecha). Para responder usaremos el bloque numérico del teclado para indicar la posición de la apertura y otra tecla para indicar que no se ve la apertura. Mediante un método de búsqueda binaria [8] el software determinará la mínima diferencia de color entre el fondo y la letra, que permite realizar con éxito la tarea. El software devuelve un fichero con valores triestímulo de los umbrales en cada una de las direcciones medidas, los valores triestímulo del color del centro y los parámetros del ajuste de la elipse (eje mayor, ratio y ángulo).

Se propone al alumno dos tareas con esta aplicación. En primer lugar, se realiza la medida de los umbrales de discriminación comparando ojo desnudo con un filtro coloreado, de forma que se compruebe la pérdida de discriminación cromática de un sujeto con una alteración de la visión del color. En segundo lugar, la comparación de las elipses medidas con cuatro fondos (acromático, rojo, verde y azul), de forma que se pueda comprobar los resultados del experimento de MacAdam.

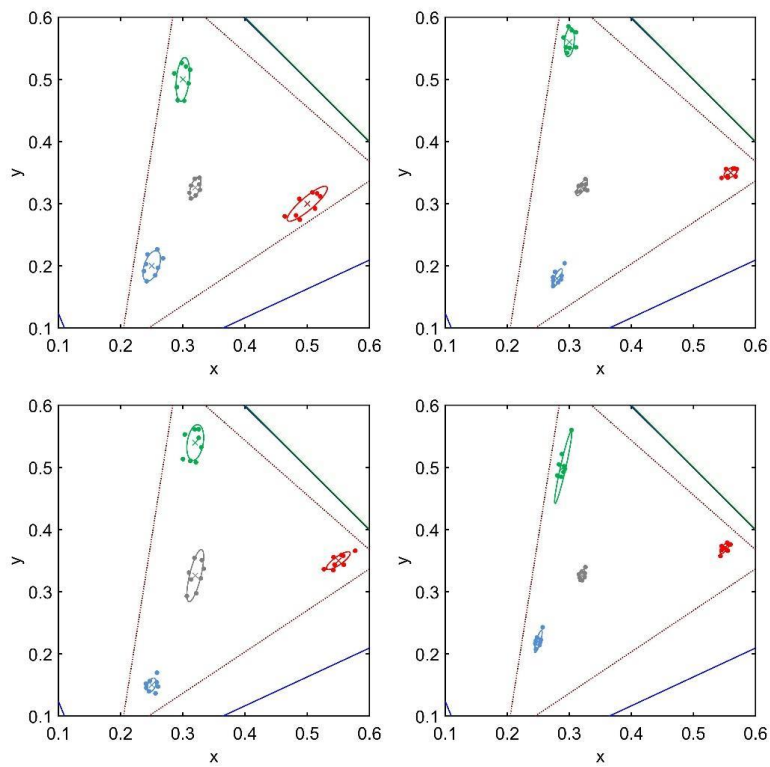
### 3. Resultados

En la figura 2 se muestran resultados representativos obtenidos con filtros de diferentes cromaticidades (el color de la línea hace referencia al color del filtro), comparados con el mismo sujeto sin filtro (línea negra). Se observa que los filtros inducen, en general, pérdidas generalizadas, aunque mayores en una dirección particular, consistente con el color del filtro.

En la figura 3 se muestran ejemplos de los resultados obtenidos en el caso de evaluar la discriminación cromática con otros fondos, además del acromático. Los alumnos seleccionaban los tres fondos coloreados, teniendo en cuenta que no debían salirse del triángulo de primarios del monitor. En cada caso, el color de la línea hace referencia al color del centro y la línea negra corresponde al acromático. Aunque no se reproduce en todos los casos los tamaños relativos esperables, según los resultados de MacAdam, la orientación de las elipses hacia el centro de confusión tritan sí es observable en general.



**Figura 2:** Elipses de discriminación obtenidas a ojo desnudo (línea negra) y con un filtro coloreado (línea del color del filtro)



**Figura 3:** Elipses de discriminación obtenidas a ojo desnudo y centradas en acromático, rojo, verde y azul

#### 4. Discusión

La aplicación *muc* permite, con las limitaciones propias de un laboratorio docente, llevar a cabo la medida de elipses de discriminación cromática alrededor de un estímulo especificado por sus coordenadas cromáticas y luminancia. Además, permite obtener resultados bastante aproximados en ciertos experimentos fáciles de implementar.

Los alumnos pueden comprobar que un sujeto con una alteración en la visión del color obtendrá umbrales de discriminación mucho mayores que los sujetos normales, pudiendo estudiar la dependencia entre la cromaticidad del filtro coloreado y los parámetros de las elipses obtenidas. También se pueden comprobar resultados de otros experimentos como el de MacAdam, estudiando la relación entre las elipses de discriminación centradas en estímulos de diferentes cromaticidades. Aunque muchos alumnos obtienen que solo la elipse centrada en verde es mayor que las demás, siempre es posible localizar alumnos que tiene más facilidad para la toma de medidas de discriminación y comprobar que mientras que las elipses centradas en acromático y azul son similares, la centrada en verde es mayor que la correspondiente al rojo y ambas mayores que las otras dos.

#### Bibliografía

- [1] D. de Fez, M.J. Luque, M.C. García-Domene, A. Díez-Ajenjo, V. Camps. MOOC Prácticas de Psicofísica y Percepción Visual <https://moodle2019-20.ua.es/pensemonline/enrol/index.php?id=30>
- [2] D. de Fez, M.J. Luque, M.A. Díez-Ajenjo, M.C. García-Domene, V. Camps. MOOC: a practical course in psychophysics and visual perception. 11th annual International Conference of Education, Research and Innovation ICERI 2018, Sevilla.
- [3] D. de Fez, M.J. Luque, M.C. García-Domene, A. Díez-Ajenjo, V. Camps. Laboratorio de visión del color para todos. Congreso Nacional de Color 2019, Jaén.
- [4] D. de Fez, M.J. Luque, A. Molina, M.C. García-Domene, D. Piñero, M.A. Díez-Ajenjo, V. Camps. Nuestra experiencia en el MOOC Prácticas de Psicofísica y Percepción Visual (PYP Visual). XVIII Jornadas de Redes de Investigación en Docencia Universitaria REDES 2020, Alicante.
- [5] D. de Fez, M.J. Luque, M.A. Díez-Ajenjo, M.C. García-Domene, V. Camps. Practical course for the design of psychophysical vision tests. 14th International Technology, Education and Development Conference INTED 2020, Valencia.
- [6] M.C. García-Domene, M.A. Díez-Ajenjo, M.J. Luque, D. de Fez. MUC: Medida de Umbrales Cromáticos. Aplicación informática para el aula. Reunión Nacional de Óptica 2021.
- [7] D.L. MacAdam, Specification of Small Chromaticity Differences, *J. Opt. Soc. Am.* 33, 18-26 (1943)
- [8] R.A. Tyrell, & D.A. Owens, D. A. A rapid technique to assess the resting states of the eyes and other threshold phenomena: The modified binary search (MOBS). *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 20, 137-14 (1988)

# Prestaciones y limitaciones de Matlab para ilustrar fenómenos psicofísicos en laboratorios docentes: medida de la relación cromaticidad-luminosidad

Dolores de Fez<sup>11\*</sup>, M<sup>a</sup> Josefa Luque<sup>2,3</sup>, M<sup>a</sup> Carmen García-Domene<sup>2</sup>, M<sup>a</sup> Amparo Díez-Ajenjo<sup>2</sup>, Valentín Viqueira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Alicante. San Vicente del Raspeig, Alicante

<sup>2</sup>Universidad de Valencia. Burjasot, Valencia

<sup>3</sup>Cátedra Alcon-FISABIO-UVEG, Valencia

<https://web.ua.es/es/gopv/grupo-de-optica-y-percepcion-visual.html>

**Resumen:** El material (software, guiones, vídeos de explicación, cuestionarios, puesta en común de resultados...) que se recoge en el MOOC Prácticas de Psicofísica y Percepción Visual, de acceso libre, puede resultar atractivo no solo al alumnado interesado en Ciencias de la Visión, sino también para el profesorado que no domine los conocimientos informáticos necesarios para fabricar un test a demanda. A partir de este material básico puede también diseñar actividades para el aprendizaje y materiales para el aula, incluso en el curso de una clase, adaptándose a las necesidades de los alumnos. Sin olvidar los posibles errores de reproducción y la reducida resolución de color de las tarjetas gráficas de 8 bits, tras varios años de uso en los laboratorios de psicofísica, hemos visto que el sistema permite reproducir los resultados más sobresalientes de ciertos experimentos psicofísicos clave, como la medida de relación entre la cromaticidad y la luminancia.

## 1. Introducción

La dificultad cuando se quieren llevar a cabo experiencias relacionadas con la visión es que se debe trabajar con un diseño muy específico de estímulos visuales. Es necesario tener acceso al diseño de las características espaciales, colorimétricas y temporales del estímulo, controlar las condiciones de visualización (ordenador, impresión, iluminación...), diseñar las pautas temporales para las secuencias de presentación de esos estímulos al sujeto etc. Estos aspectos se tienen en cuenta en los laboratorios docentes, pero fuera de ellos es complicado trabajar si no se dispone del software necesario.

Nuestro objetivo en los últimos años ha sido proporcionar un software básico orientado a la realización de una serie de experimentos visuales, con estímulos controlados para realizar experiencias de psicofísica básica y clínica. Este software se encuentra disponible de manera gratuita en el MOOC Prácticas de Psicofísica y Percepción Visual, alojado en el repositorio de la Universidad de Alicante [1]. A partir de este material básico se puede también diseñar otras actividades para el aprendizaje y materiales para el aula, incluso en el curso de una clase, adaptándose a las necesidades de los alumnos [2-6].

Sea cual sea el uso de este software (particular, demostrativo en docencia o en otros ámbitos), debemos tener en cuenta que los estímulos van a ser presentados en un dispositivo que no está caracterizado colorimétricamente, al menos no con la caracterización genérica con la que han sido diseñadas las aplicaciones. Es por esto que no podemos olvidar los factores que pueden distorsionar nuestras mediads experimentales: 1) los errores de reproducción del color, que pueden controlarse en laboratorios docentes, si se caracteriza colorimétricamente el dispositivo, pero no cuando el usuario lo usa en su casa; 2) la precisión con la que se puede reproducir un cierto efecto, y 3) las limitaciones introducidas por el método psicofísico utilizado que, por razones didácticas, en buena parte del software al que nos hemos referido, debe implementar manualmente el propio usuario.

<sup>1</sup> \* e-mail: dolores.fez@ua.es

En esta contribución presentamos parte de los resultados experimentales obtenidos para la aplicación  $hk$  (relación cromaticidad-luminosidad) durante los cursos académicos 19-20 y 20-21, y para los que analizamos si, a pesar de los factores de distorsión ligados a los errores de reproducción y a la precisión del dispositivo, se pueden obtener resultados que ilustren contenidos tratados en las clases de teoría.

## 2. Aplicación Relación cromaticidad-luminosidad ( $hk$ )

Cuando igualamos luminosidades de dos estímulos que tengan diferente cromaticidad, en general no tendrán la misma luminancia  $L$ . Si hacemos el experimento de búsqueda del mínimo borde comparando un acromático de referencia, de luminancia fija, en un semicampo y un estímulo monocromático en el otro semicampo, obtenemos la relación de  $L$  entre las diferentes longitudes de onda que proporciona luminosidad constante, representada en la Fig. 1:

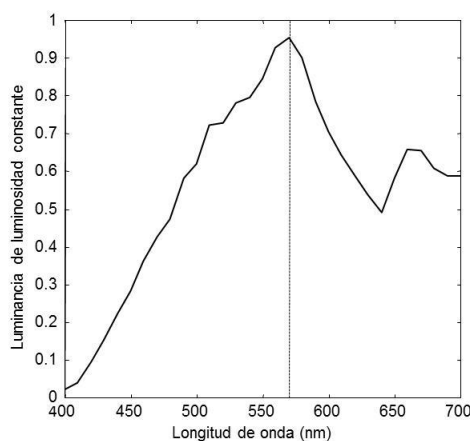
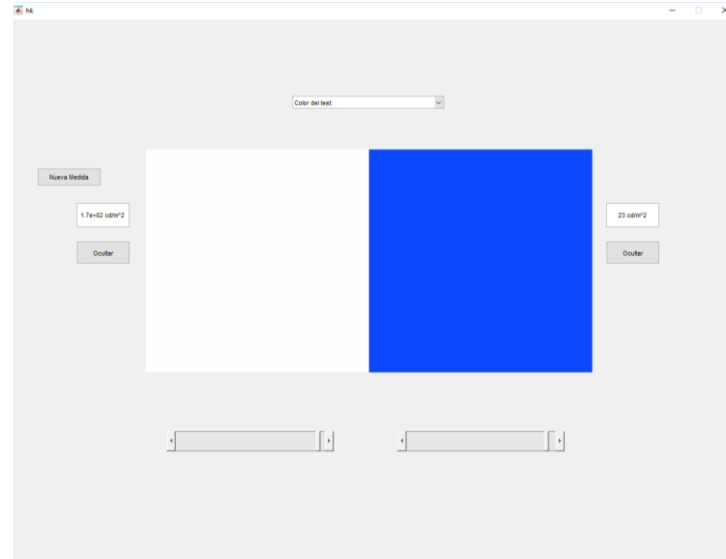


Figura 1: Valores de luminancia a luminosidad constante para colores monocromáticos [7]

Tanto si utilizamos colores espectrales como no espectrales, este fenómeno se conoce como efecto Helmholtz-Kohlsrauch [8]. En cualquier caso, sabemos que la sensibilidad espectral de un fotómetro no es la misma que la del sistema visual, además de que no se cumple la ley de Abney para la suma de las luminosidades. También sabemos que en un monitor no se pueden reproducir los colores monocromáticos, por lo que es necesario trabajar con colores con una pureza colorimétrica  $p_c$ , menor, siendo 0.2 el límite en nuestro caso. En estas condiciones no esperamos obtener los mismos resultados del efecto, pero sí una buena aproximación en cuanto a la forma y la posición del máximo de la curva.

Mediante la aplicación  $hk$  se puede medir experimentalmente la variación de la luminosidad con la cromaticidad, utilizando un conjunto de estímulos que barran todos los tonos en condiciones fotópicas, y a pureza colorimétrica constante ( $p_c=0.2$ ). Esta aplicación nos presenta dos estímulos cuadrados adyacentes. En el de referencia se sitúa un estímulo acromático. En el otro cuadrado se pueden seleccionar una serie de estímulos ya configurados, cuya longitud de onda dominante varía de 450 a 650, en pasos de 20 nm. El programa permite variar la luminancia de ambos estímulos (ver Fig 2).

En primer lugar, es necesario elegir el estímulo de referencia. Si se utiliza como referencia el acromático que muestra por defecto del programa, solo queda seleccionar su luminancia, que será fija durante todo el experimento, para que nos permita igualar todos los colores tests. Dado que en la zona de los azules las luminancias serán menores, se sugiere usar el primario azul como estímulo para llevar a cabo el proceso de selección de la luminancia del acromático de referencia (menor que la de ese azul, para poder llevar a cabo el método psicofísico).

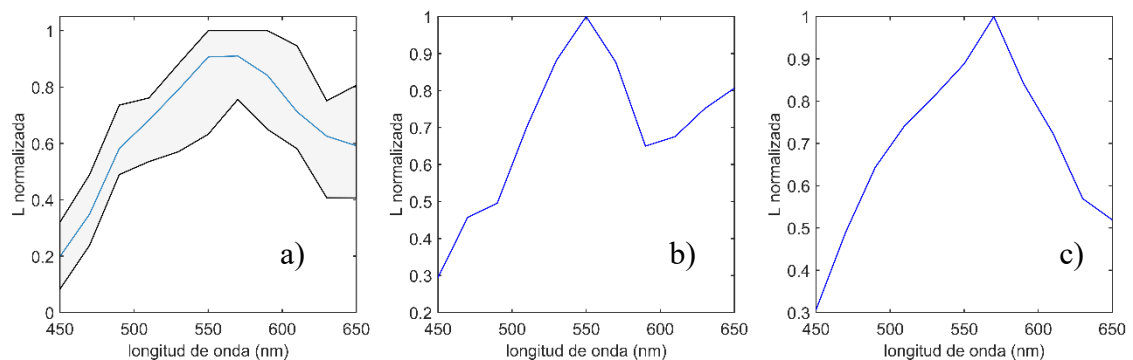


**Figura 2:** Interfaz para la medida experimental en la aplicación hk.

Presentando cada estímulo test al observador, determinaremos cuándo le parecen igual de luminosos que el acromático de referencia. El estudiante implementa manualmente el método psicofísico. Se les recomienda el de escalera, por lo que tendrán que determinar cómo serán los escalones de bajada y subida, teniendo en cuenta que cada vez que se cambie de sentido en la respuesta, el escalón pasará a ser la mitad del anterior. El tamaño del escalón inicial dependerá de cada color, ya que cada uno se presentará con una luminancia.

### 3. Resultados

En la figura 3 se muestran resultados representativos obtenidos con la aplicación hk midiendo la luminancia necesaria para igualar un acromático de referencia en un locus de pureza colorimétrica constante y distintas longitudes de onda dominante. Los alumnos eligen el nivel de luminancia de su propio acromático y, por tanto, las medidas de luminancia de los tests fijos coloreados cuando se igualan las luminancias son diferentes en cada experimento. Por ello, se opta por representar la luminancia normalizada al valor del máximo obtenido.



**Figura 3:** Curvas normalizadas de luminancia vs. Longitud de onda dominante, para un espectro de pureza colorimétrica constante. a) Resultado promedio de 10 observadores e intervalo de confianza del 95% de la muestra. b) y c) Resultados de dos sujetos individuales, mostrando la variabilidad en la posición del máximo y en el comportamiento del rango de largas longitudes de onda.

#### 4. Discusión

La aplicación  $hk$  permite, con las limitaciones propias de un laboratorio docente, llevar a cabo la medida de la luminancia necesaria para igualar la luminosidad de un campo acromático de referencia. Los resultados muestran que los colores para los que se necesita la máxima luminancia en esta igualación oscilan entre 550 y 590 nm aproximadamente. Para los rojos es necesaria menos luminancia y para los azules mucha menos. Algunos alumnos encuentran una ligera subida para 650 nm, el extremo más rojo que se les presenta.

Los alumnos reproducen, con una buena aproximación, las curvas del efecto Helmholtz-Kolsrausch. Se debate durante el desarrollo de la sesión si verdaderamente estamos midiendo este efecto tal y como se introduce en las clases teóricas, para llegar a la conclusión de que no. En un monitor de ordenador no podemos reproducir colores monocromáticos, por lo que es imposible obtener los resultados correspondientes a colores monocromáticos. Teniendo esto en cuenta, el hecho de utilizar estímulos de aproximadamente 0.2 de pureza no aleja demasiado los resultados del laboratorio de los resultados esperados.

#### Bibliografía

- [1] D. de Fez, M.J. Luque, M.C. García-Domene, A. Díez-Ajenjo, V. Camps. MOOC Prácticas de Psicofísica y Percepción Visual <https://moodle2019-20.ua.es/pensemonline/enrol/index.php?id=30>
- [2] D. de Fez, M.J. Luque, M.A. Díez-Ajenjo, M.C. García-Domene, V. Camps MOOC: a practical course in psychophysics and visual perception. 11th annual International Conference of Education, Research and Innovation ICERI 2018, Sevilla.
- [3] D. de Fez, M.J. Luque, M.C. García-Domene, A. Díez-Ajenjo, V. Camps. Laboratorio de visión del color para todos. Congreso Nacional de Color 2019, Jaén.
- [4] D. de Fez, M.J. Luque, A. Molina, M.C. García-Domene, D. Piñero, M.A. Díez-Ajenjo, V. Camps. Nuestra experiencia en el MOOC Prácticas de Psicofísica y Percepción Visual (PYP Visual). XVIII Jornadas de Redes de Investigación en Docencia Universitaria REDES 2020, Alicante.
- [5] D. de Fez, M.J. Luque, M.A. Díez-Ajenjo, M.C. García-Domene, V. Camps. Practical course for the design of psychophysical vision tests. 14th International Technology, Education and Development Conference INTED 2020, Valencia.
- [6] M.C. García-Domene, M.A. Díez-Ajenjo, M.J. Luque, D. de Fez. MUC: Medida de Umbrales Cromáticos. Aplicación informática para el aula. Reunión Nacional de Óptica 2021.
- [7] P. K. Kaiser, J.P. Comerford, Flicker photometry of equally bright lights, *Vision Research*, 15, 1399-1402 (1975)
- [8] P. Capilla, Percepción visual. Psicofísica, mecanismos y modelos. Editorial Médica Panamericana, Madrid, 2020.



